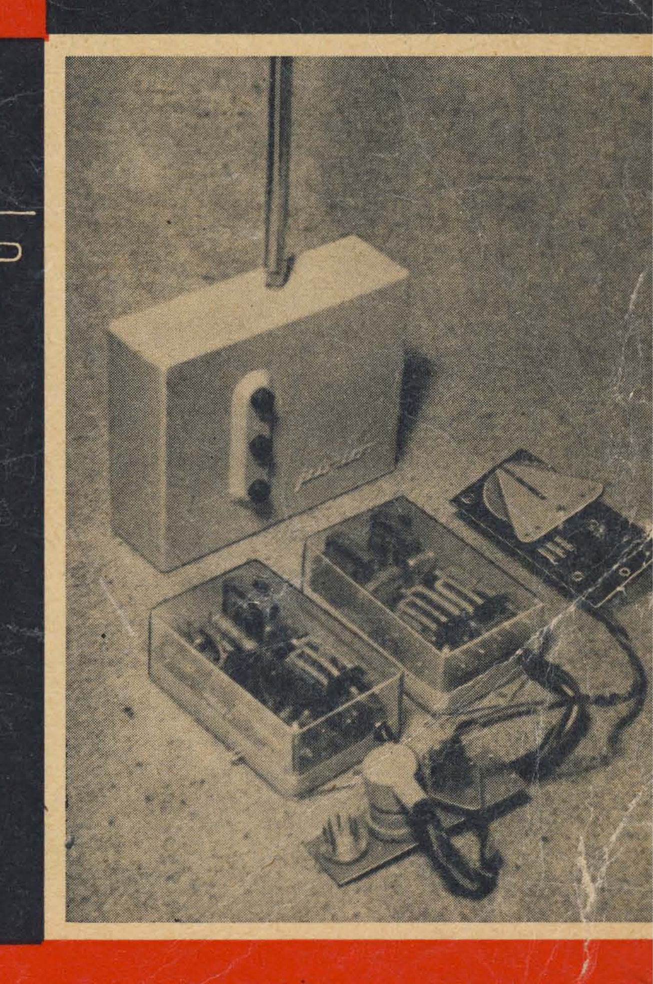
73

DER PRAKTISCHE FUNKAMATEUR



Hagen Jakubaschk

Fernsteuerexperimente Teil II

Der praktische Funkamateur · Band 73

Fernsteuerexperimente Teil II

HAGEN JAKUBASCHK

Fernsteuerexperimente Teil II



DEUTSCHER MILITÄRVERLAG

Redaktionsschluß: 15. August 1967

1.–15. Tausend
Deutscher Militärverlag · Berlin 1968
Lizenz-Nr. 5
Lektor: Wolfgang Stammler
Zeichnungen: Heinz Grothmann · Fotos: Stuhrmann KG/Borrmann
Typografie: Günter Hennersdorf
Vorauskorrektor: Ingeborg Kern · Korrektor: Ingrid Peuther
Hersteller: Werner Briege
Gesamtherstellung: Druckerei Märkische Volksstimme Potsdam A 915
1.90

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

Mit Band 51 dieser Reihe (Fernsteuerexperimente, Teil I) wurde versucht, einen systematischen Überblick über die für den Amateur in Frage kommenden Fernsteuerverfahren zu geben. Diese Aufgabenstellung bedingte zweierlei: Einmal war schaltungstechnisch eine Aufteilung in Funktionsgruppen vorzunehmen, deren zweckmäßige Kombination zur Gesamtanlage dem Leser überlassen blieb, denn die vollständige Beschreibung einer Gesamtanlage war in diesem Rahmen nicht sinnvoll. Zum anderen mußten wegen des beschränkten Heftumfangs die Schaltungen, über die dem Amateur relativ reichhaltig anderweitige Literatur zur Verfügung steht – insbesondere waren das HF-Sender und HF-Empfänger –, zugunsten anderer weniger bekannter Schaltungen und Verfahren zurückstehen.

In der vorliegenden zweiten Broschüre zu dieser Thematik sollen einige Schaltungen aus dem Gebiet der HF-Fernsteuerung (Funkfernsteuerung) als Gesamtschaltung gezeigt werden. Entsprechend der in Teil I angewendeten Systematik, wird dabei wiederum in Sender und Empfänger unterteilt und vor allem die Schaltungstechnik ausführlich beschrieben. Die gezeigten Schaltungen ergänzen und detaillieren somit das in Teil I Gesagte. In diesem Sinne wurde auch eine vollständige Anlage für Magnetfeldsteuerung (Induktionsschleifenverfahren) aufgenommen. Hinzugekommen sind in Erweiterung der Thematik des Teiles I einige Hinweise zu leitstrahlgelenkten Fahrmodellen und ein umfangreicher Abschnitt zum Thema Modelleisenbahn-Elektronik, die sich in neuerer Zeit zunehmender Beliebtheit erfreut.

Mechanische Probleme werden auch in dieser Broschüre nicht behandelt, zumal diese Fragen vom Fernsteueramateur nach wie vor sehr individuell gelöst werden und spezielle mechanische Lösungen kaum zu verallgemeinern sind.

Die im vorliegenden Band zu solchen Fragen gegebenen Literaturhinweise bieten einen Überblick über die Lösungen anderer Amateure und regen zu eigenen Ideen an.

Funktionsgrundlagen und allgemeine Hinweise zu Aufbau- oder Entwurfsfragen, zu gesetzlichen Bestimmungen usw. können, soweit sie in Teil I bereits behandelt wurden, nicht nochmals beschrieben werden; es wird jeweils auf die entsprechenden Abschnitte in Band 51 dieser Reihe verwiesen.

Die im vorliegenden Heft angegebenen Schaltungen sind völlig auf die Halbleitertechnik orientiert. Bezüglich ihrer Funktionssicherheit, der Materialsituation, der Angabe von Halbleitertypenklassen ohne starre Typenbindung usw. gilt, was im Rahmen dieser Broschürenreihe bereits zur guten, bewährten „Tradition" gehört und in der Einleitung zu Band 51 und zahlreichen anderen Heften der Reihe umrissen worden ist.

Abschließend wird dringend empfohlen, vor dem Nachbau einer drahtlosen Fernsteueranlage, gleichgültig, mit welchem Träger (also auch bei Induktionsschleifenverfahren größerer Leistung oder bei anderen Formen der Nachrichtenübermittlung), die zuständige Post- und Fernmeldedirektion zu konsultieren.

Nahmitz bei Brandenburg, März 1967

Hagen Jakubaschk

1. Funkfernsteuersender

Das Grundsätzliche zur Konstruktion, zum Bau und zum Betrieb von Funkfernsteuersendern wurde bereits in Teil I der Reihe *Der praktische Funkamateur* in Abschnitt 1.3.5. und 1.4. erläutert. Es soll deshalb lediglich nochmals herausgestellt werden, daß die Arbeit an einer Funkfernsteuerung grundsätzlich mit der Beschaffung der Modellfunkgenehmigung beginnt! Einzelheiten dazu sind aus der Modellfunkordnung der DDR vom 3. 4. 1959 (GBl. I, Seite 467) zu ersehen, kommentiert u. a. in der Zeitschrift *radio und fernsehen*, Heft 20/1959, Seite 662/663. Die örtlich zuständige Bezirksdirektion des Ministeriums für Post- und Fernmeldewesen, Abt. Funkwesen, berät auf Anfrage den interessierten Amateur bezüglich der Einzelheiten des Antragsverfahrens. Erst nach Vorliegen der Genehmigung darf mit dem Senderbau begonnen werden!

Wie in Teil I bereits gesagt, kommt für den Fernsteueramateur meist nur die Frequenz 27,12 MHz $\pm$ 0,6 % in Frage. Die im folgenden beschriebenen Schaltungen sind daher sämtlich für diese Frequenz ausgelegt. Es sei nochmals erwähnt, daß viele Amateure falsche Vorstellungen von der für eine zweckentsprechend ausgelegte Fernsteuerung notwendigen Sendeleistung haben. Wenn man davon ausgeht, daß ein Modell nur gesteuert werden kann, solange es noch gut erkennbar in Sichtweite ist, dann ergeben sich meist Übertragungsentfernungen, die selten mehr als 300 m betragen, wobei zwischen Sender und Empfänger im allgemeinen optische Sicht und damit relativ gute Ausbreitungsbedingungen gegeben sind. Selbst mit einem einfachen Pendelaudion im Empfänger überbrückt man diese Entfernung dann schon mit Sendeleistungen von wenigen Milliwatt! Daher sind – und das beweisen die Erfahrungen der letzten Jahre – Sendeleistungen in der Größenordnung von 10 bis 50 mW bei weitem

ausreichend. Höhere Sendeleistungen sind für den Funkfernsteueramateur kaum sinnvoll.

Sendeleistungen von einigen 10 mW lassen sich mit den für den Amateur erhältlichen Transistoren ohne weiteres realisieren. Die im folgenden gezeigten Schaltungen, darunter die einer industriell gefertigten und in mehreren tausend Exemplaren bewährten Funkfernsteueranlage, sind für diese Leistungsklasse ausgelegt. Wie der in Abschnitt 1.4. beschriebene Sender beweist, „geht es auch ohne Quarz", aber man darf dabei nicht übersehen, daß diese Schaltungskonzeption einen erstklassigen frequenzstabilen und gut temperaturkompensierten Aufbau voraussetzt – eine für wenig erfahrene Amateure nicht leicht zu lösende Aufgabe! Da sich ein quarzgesteuerter Sender weit einfacher aufbauen läßt und dem Amateur von vornherein alle schwierigen Abgleichprobleme (sowie Ärger mit dem Meßdienst der Post wegen nicht eingehaltener Betriebsdaten, Frequenz-Instabilitäten usw., möglicherweise Verweigerung der Abnahmegenehmigung!) erspart, dabei auch im allgemeinen mit weniger der teuren HF-Transistoren auskommt, ist der quarzgesteuerte Sender in jedem Fall die bessere und, unter diesen Aspekten gesehen, auch nicht wesentlich kostspieligere Lösung. Das gelegentlich gehörte Argument, der 27,12-MHz-Quarz sei „zu teuer", trifft also ebensowenig zu wie das Argument der Materialfrage. Die vom VEB *Carl Zeiss*, Jena, gefertigten Quarze für 27 120 kHz oder 27 125 kHz werden zur Zeit (Stand 1. Halbjahr 1967) schon in mehreren Amateur-Versandgeschäften regelmäßig angeboten, u. a. auch vom bekannten Bastlerversandhaus *funkamateur* in Dresden.

Funkfernsteuersender sind heute also stets transistorisiert, meist quarzgesteuert; ihre Sendeleistung sollte, wenn auch das in diesem Punkt überholte Gesetz noch bis 5 W zuläßt, nicht über 50 mW liegen. Der moderne Fernsteuersender ist stets tonmoduliert; wegen der einfacheren Schaltungstechnik und der zuverlässigen Funktionsweise setzt sich mehr und mehr die Rechteckmodulation mit 100 Prozent Modulationsgrad durch.

1.1. 1-Kanal-Kleinsender

Bild 1 zeigt die Schaltung eines 1-Kanal-Senders, mit dem man eine Sendeleistung von etwa 10 mW erreichen kann. Zusammen mit einem optimal dimensionierten Pendelaudion als Empfänger, lassen sich damit Reichweiten bis etwa 200 m überbrücken, was bereits für sehr viele Modellanwendungen ausreicht. Der Sender arbeitet mit einem 27 120-kHz-Grundwellenquarz und ist tonmoduliert mit einer beliebig festzulegenden Tonfrequenz. Die Modulationsfrequenz wählt man entsprechend der Auslegung des benutzten Empfängers.

Entsprechend der in Band 51 dieser Reihe gegebenen Systematik, kann diese Schaltung unterteilt werden in den Kommandogeber (Tongenerator) mit Transistoren T1, T2, den hier als Schaltstufe arbeitenden Modulator T3, den HF-Sender mit T4 und Quarz Q.

Der Kommandogeber ist ein Multivibrator [1], dessen Frequenz grob mit C1 und C2 festgelegt wird. Beide Kondensatoren sollen gleich groß sein. Feinabgleich der Modulationsfrequenz kann mit R1 erfolgen. Das hat den Vorteil, daß man im Empfänger eventuell festabgestimmte Tonresonanzkreise (Schaltstufen) oder Filter verwenden kann. Da sie meist als LC-Kreise aufgebaut sind, ist bei ihnen ein nachträglicher Abgleich oft nicht ohne weiteres durchzu-

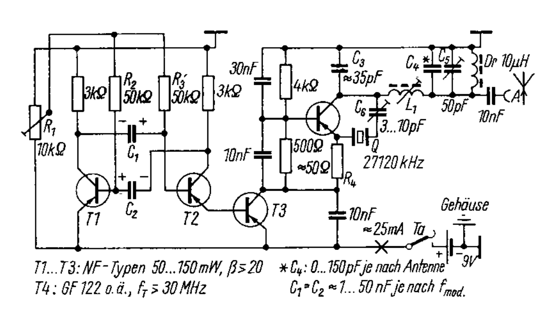


Bild 1 Schaltung des 1-Kanal-Kleinsenders mit Rechteckmodulation

führen bzw. nur umständlich möglich, falls Spulenkerne ohne Abgleichstift verwendet werden. Man kann dann den Sender mit R1 genau auf die Resonanzfrequenz des Empfänger-NF-Filters abgleichen. Möglich ist auch die Parallelschaltung mehrerer Trimmregler bei R1, wobei die von R2, R3 kommende Leitung mit Drucktasten zwischen den Potentiometerabgriffen umgeschaltet werden kann. In dieser Form läßt sich die Schaltung leicht auf mehrere NF-Kanäle erweitern.

Schalttransistor T3 wird mit der vom Tongenerator erzeugten Rechteckfrequenz angesteuert und schaltet in deren Rhythmus den Sender (T4) ein und aus. Dadurch erreicht man eine exakte Rechteckmodulation mit 100 Prozent Modulationsgrad.

Der Sender arbeitet einstufig mit dem Schwingquarz Q im Rückkopplungszweig, so daß man mit einem einzigen HF-Transistor auskommt. Da T4 in Basisschaltung arbeitet, lassen sich auch weniger schwingfreudige Exemplare, u. a. Transistoren der entsprechenden „Bastlertypen", benutzen. Trotzdem sollte für T4 möglichst ein Exemplar mit einer Grenzfrequenz (Transitfrequenz) von mindestens 30 MHz benutzt werden. Außer dem *GF 122* sowie den entsprechenden älteren Transistoren *(OC 883)* und Bastlertypen eignen sich auch zahlreiche Importtypen (z. B. *AF 115, P 403*).

Der kollektorseitige Schwingkreis ist als π-Filter-Ausgang geschaltet. Diese Art der HF-Auskopplung hat gerade für den Fernsteueramateur einige Vorzüge. Einmal ist der Abgleich auf maximale Leistungsabgabe relativ leicht möglich, zum anderen sorgt diese Schaltung von vornherein für eine ausreichende Unterdrückung der Oberwellen, was gerade bei rechteckmodulierten Sendern Bedeutung hat. Zusammen mit der verhältnismäßig geringen Sendeleistung, lassen sich die vom Gesetzgeber geforderten Störstrahlungsbedingungen ohne besondere Schwierigkeiten und ohne großen Aufwand an Meßmitteln einhalten. Der Wert für C3 richtet sich nach Aufbau des Senders und Exemplareigenschaften des Transistors und soll von 35 pF

nicht wesentlich abweichen. Mit L1 wird der Schwingkreis auf Resonanz bei der Quarzfrequenz abgeglichen; praktisch erfolgt wechselseitiger Abgleich von L1 und C5 auf maximale Sendeleistung. Hierfür kann man als Hilfsmittel einen Feldstärkeindikator (einfachen 27,12-MHz-Schwingkreis mit Diode und Mikroamperemeter) benutzen, wie er in der Amateurliteratur zahlreich beschrieben ist. Der nicht besonders mit Meßmitteln ausgestattete Amateur kann jedoch diesen Abgleich auch mit dem zugehörigen Empfänger unter „echten" Betriebsbedingungen (auf maximale Reichweite in freiem Gelände) vornehmen.

C5 bewirkt gleichzeitig die optimale Antennenanpassung. Da außer den Antenneneigenschaften auch alle anderen erwähnten Toleranzen in den Abgleich eingehen, kann der Wert von C5 erheblich differieren. Deshalb wird bedarfsweise C4 verändert und mit C5 fein abgeglichen. Für eine Antennenlänge von 120 bis 150 cm ergeben sich optimale Verhältnisse, wenn C4 + C5 $\approx$ 150 pF sind. Der endgültige Abgleich erfolgt wechselseitig mit L1, C5 und wird mit L1 beendet.

Antennenlängen über 150 cm sind im praktischen Gebrauch kaum sinnvoll. Lediglich bei stationärer Aufstellung des Senders kann man die Antenne für optimale HF-Ausbeute mit etwa 3 m Länge dimensionieren. Der Abgleich von L1 und C5 gilt selbstverständlich stets nur für eine bestimmte Antennenlänge, für die man sich entschieden hat und die dann beizubehalten ist!

L1 kann je nach vorgesehenem Spulenkörper entsprechend den in der Bastlerliteratur zahlreich zu findenden Spulenberechnungen oder Spulennomogrammen dimensioniert werden. Bei einem Spulenkörper Nr. 2016 (HFW Meuselwitz) mit Abgleichkern 3 $\times$ 7, Manifer 220, ergeben sich für L1 : Wdg., $\approx$ 0,3-mm-CuL-Draht.

Rückkopplungstrimmer C6 wird so eingestellt, daß der Sender gerade anschwingt; er kann gegebenenfalls durch einen Festkondensator geeigneter Größe ersetzt werden. Bei falsch abgeglichener Spule L1 schwingt der Sender nicht an.

Etwas schwieriger läßt sich der Wert von R4 bestimmen. Dieser Wert hängt weitgehend von den Exemplareigenschaften des T4 und von Q ab; er sollte nur zwischen 30 Ω und 100 Ω geändert werden. Zu kleiner oder zu großer Wert von R4 verhindert entweder das Anschwingen oder ergibt erheblich geringere Sendeleistung. R4 sollte zunächst mit 50 Ω bemessen und nur, wenn der fertige Sender trotz optimalen L- und C-Abgleichs mangelhafte Leistung zeigt, versuchsweise geändert werden; Abgleich von L1, C5 und C6 ist nach Wertänderung von R4 neu durchzuführen!

Der Sender nimmt einen gesamten Batteriestrom von etwa 25 mA auf (der genaue Wert hängt ab von dem für R4 gefundenen optimalen Wert) und wird mit 9 V betrieben. Da der Sender nicht ständig durchläuft, sondern über die Einschalttaste (beim Einkanalsender gleichzeitig Kommandotaste) Ta nur während der Kommandogabe eingeschaltet ist, bleibt der Batterieverbrauch recht gering. Mit entsprechend kleinen Batterieformen – etwa einer Serienschaltung aus 6 Monozellen je 1,5 V – läßt sich daher der ganze Sender als kleines Handgerät aufbauen, auf das bei A die Stabantenne aufgesteckt wird. Für die HF-Drossel Dr benutzt man eine der bekannten 10-μH-Entstördrosseln für Spielzeug- oder Modellbahnmotoren.

Als Antenne kann eine Teleskopstabantenne, wie für Kofferradiogeräte üblich, mit wenigstens 120 cm Länge benutzt werden. Größere Längen sind zum Erzielen großer Reichweiten vorteilhafter, aber als Stabantennen nicht handelsüblich. Hier bietet sich gerade für Fernsteuersender eine Eigenbau-Lösung nach dem Prinzip der von Funkgeräten bekannten *Kulikow*-Antenne an. Bild 2 gibt einen Aufbauvorschlag für diese zusammenlegbare Antenne. Man benutzt eine Kupferlitze ausreichender Zug- und Reißfestigkeit und entsprechender Länge, die einseitig zugfest in einen Steckerstift (Bananenstecker) eingelötet wird. Der Stecker dient zum Aufsetzen auf den Sender. Die Litze wird auf ganzer Länge mit kleinen, für Schmuckzwecke erhältlichen Glasperlen bezogen. Als letztes folgt, wie die Skizze zeigt, eine geeignet geformte Hülse aus beliebigem

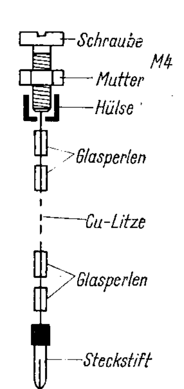


Bild 2
Zusammenlegbare Antenne (*Kulikow*-Antenne) für Fernsteuersender

Metall. Das Litzenende wird in eine (fußseitig zum „Lötauge" aufgebohrte) M-4-Schraube mit Mutter eingelötet und die Litze zuletzt von der Steckerseite her gespannt (durch die Öffnung der entfernten Klemmschraube am Stecker ziehen!) und verlötet. Dreht man nun die M-4-Mutter zum Schraubenkopf hin, so gleitet die Hülse über die Schraube nach und gibt die Glasperlen frei. Die entspannte Litze kann dann zum Ring zusammengelegt und bequem transportiert werden. Zum Gebrauch wird die Mutter fußwärts gedreht, bis sie über der Hülse die Glasperlen zusammendrückt und damit die Litze spannt. Die gespannte Antenne ist dann starr und wie eine Stabantenne zu handhaben, darf allerdings nicht allzu stark gebogen oder geknickt werden. Nach dem gleichen Prinzip, mit hartgelöteter Stahllitze und Metallmuffen an Stelle der Glasperlen, kann man jedoch auch eine sehr strapazierfähige *Kulikow*-Antenne von mehr als 2 m Länge herstellen.

1.2. 3-Kanal-Kleinsender

Bild 3 zeigt die Schaltung eines Kleinsenders für 3 NF-Kommandokanäle, der etwa 20 mW Sendeleistung aufbringt. T1 und L3/L4, C1 · · · C4 bilden den Kommandogeber, der als LC-Tongenerator ausgeführt wurde. T2 ist der Mo-

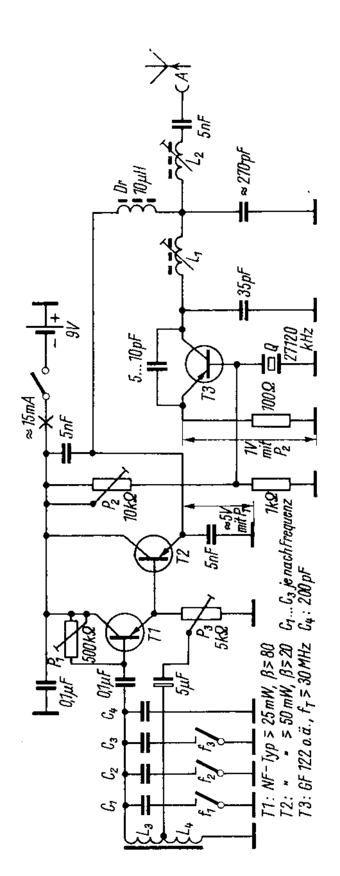


Bild 3 Schaltung des 3-Kanal-Kleinsenders mit Sinusmodulation

dulatortransistor, T3 die Senderstufe. Der Sender arbeitet mit Sinusmodulation.
L3, L4 und C4 bilden einen Schwingkreis, der mit T1 entdämpft wird. Rückkopplungsregler P3 stellt man so ein (von Masse her beginnend), daß der Tongenerator auf allen Kommandofrequenzen gerade sicher anschwingt. Er erzeugt dann eine relativ saubere, frequenzstabile Sinusschwingung. Mit P1 wird vor Abgleich von P3 der Arbeitspunkt für T1 so eingestellt, daß über P3 etwa die halbe Batteriespannung (4 V bis 5 V) abfällt. P1 kann danach durch einen gleich großen Festwiderstand ersetzt werden.

Der Tongenerator bleibt ebenso wie der Sender ständig in Betrieb. Ist keine der Kommandotasten f1 · · · f3 gedrückt, so wird eine NF-Schwingung (durch C4 bedingt) erzeugt, auf die der Empfänger nicht anspricht. Diese Schwingung sorgt in den Kommandopausen lediglich für konstante Betriebsverhältnisse. Beim Fehlen von C4 würde der Tongenerator sonst zu unkontrollierten Schwingungen neigen. Der mit C4 erzeugte frequenzhöchste Modulationston kann außerdem empfängerseitig als Kontrollsignal für die bestehende Funkverbindung dienen und etwa dazu benutzt werden, bei abreißender Funkverbindung oder abgeschaltetem Sender das Modell stillzusetzen.
Sobald eine der Kommandotasten f1 · · · f3 gedrückt wird, liegt der zugehörige, die jeweilige Kommandofrequenz bestimmende Kondensator C1 bis C3 parallel zu C4. Der Wert dieser Parallelschaltung bestimmt dann die Kommandofrequenz. C1, C2 und C3 werden demgemäß entsprechend den gewünschten Modulationsfrequenzen bemessen. Die Modulationsfrequenzen können, da diese LC-Schaltung sehr frequenzstabil arbeitet, gegebenenfalls dicht beieinanderliegen, was die Auslegung der empfängerseitigen Tonschaltkreise und die Staffelung der Kommandofrequenzen (Näheres in [2]) erleichtert. L3 und L4 haben gleiche Windungszahl und werden als eine Spule mit Mittelanzapfung gewickelt. Wird ein vorhandener Ferritschalenkern benutzt, so wählt man C1 · · · C3 je nach Frequenz in der Größenordnung von 2 bis 10 nF, bestimmt damit

nach der bekannten *Thomson*schen Schwingungsgleichung den erforderlichen L-Wert (für die Gesamtwicklung L3 und L4) und findet aus dem L-Wert sowie dem für den Spulenkern gültigen A_L-Wert (der bekannt sein muß) die erforderliche Windungszahl w nach der Beziehung

$$w = \sqrt{\frac{L}{A_L}}\ ;$$

L in nH $= 10^{-9}$ H.

Für einen Schalenkern aus Manifer 425 (VEB *Keramische Werke*, Hermsdorf), $A_L = 2500$, ergeben sich für L3, L4 = 2×500 Wdg.; mit C1 (C2, C3) $\approx$ 10 nF erhält man damit f1 (f2, f3) $\approx$ 1 kHz. Diese Angaben mögen als Richtwert gelten. Der Drahtdurchmesser ist unkritisch (etwa 0,1- bis 0,12-mm-CuL), solange sich die notwendige Windungszahl auf der Spule noch unterbringen läßt. Modulationsfrequenzen bis 5 kHz erreicht man übrigens auch mit dem bekannten *Sternchen*-Treibertransformator K20; seine Daten entsprechen den für L3, L4 geforderten. Man schließt dann die Sekundärwicklung (grün-grün, Mittelanzapfung schwarz) an; Primärwicklung (rot-weiß) bleibt frei. Mit etwa 20 nF Schwingkreiskapazität ergibt sich beim K20 annähernd 1 kHz. Bei nicht allzu hohen Modulationsfrequenzen kann mit Hilfe des K20 das Selbstwickeln der Spule umgangen werden. Dies gilt auch für die Empfängerseite.

Am Emitter T1 wird die Modulationsfrequenz abgenommen und über T2 zur Kollektorstrommodulation der HF-Stufe T3 benutzt. Je nach Exemplardaten von T2 und T3 kann es von Vorteil sein, P1 nicht auf die angegebene Spannung, sondern nach Versuch auf beste Modulationsqualität (bzw. optimale Kommandoübertragung) einzustellen, wobei von der angegebenen Emitterspannung bei T2 jedoch nicht allzuweit abgewichen werden sollte.

Den Arbeitspunkt des HF-Transistors T3 – für den sinngemäß das in Abschnitt 1.1. Gesagte gilt – stellt man mit P2 auf 1 V Emitterspannung ein. Quarz Q, der ebenfalls ein Grundwellenquarz sein muß (bei Erzeugnissen des

VEB *Carl Zeiss*, Jena, an der in kHz erfolgenden Frequenzangabe zu erkennen; Oberwellenquarze werden in MHz beschriftet), wird in Serienresonanz erregt. Der Rückkopplungskondensator zwischen Kollektor-Emitter T3 soll nicht größer sein, als zum sicheren Anschwingen erforderlich. Im übrigen verhält sich die Senderstufe, die ebenfalls mit π-Filterausgang arbeitet, wie der in Abschnitt 1.1. beschriebene Sender und wird sinngemäß ebenso abgeglichen. Die Antenne stimmt man in diesem Fall mit einer Antennenverlängerungsspule L2 ab, die als Abstimmorgan eine ähnliche Funktion hat wie C 5 bei Schaltung nach Bild 1. L1 und L2 sind wechselseitig auf maximale HF-Leistung (Reichweite) abzugleichen; der Abgleich wird mit L1 beendet. Bei mangelhafter Reichweite kann der Abgleich mit etwas geänderter P2-Einstellung wiederholt werden. Drossel Dr ist eine 10-μH-„Entstördrossel" von Modellbahnmotoren. Beim Aufbau muß man darauf achten, daß L1 und L2 nicht aufeinander koppeln: Die beiden Spulen werden also nicht unmittelbar nebeneinander angeordnet. Ihre Achsen müssen senkrecht zueinander stehen. L1 kann auf einen Spulenkörper Nr. 2016 (HFW Meuselwitz) mit Abgleichkern 3 $\times$ 7, Manifer 220, gewickelt werden und erhält für diesen Fall 13 Wdg., 0,35-mm-CuL. L2 richtet sich nach der gewählten Antennenlänge (für 1,20 m eine Induktivität von 3 μH). *Diese Induktivität wird erreicht mit* 24 Wdg., 0,35-mm-CuL, auf Spulenkörper Nr. 15 042 (HFWM) mit Abgleichkern 3,5 $\times$ 15, Manifer 220. Notfalls kann man für L2 auch 3 10-μH-Entstördrosseln parallelschalten und den Abgleich an Stelle von L2 dann mit dem zwischen L1, L2 gegen Masse liegenden Kondensator ($\approx$ 270 pF) vornehmen.

1.3. Quarz-Kleinsender für Proportionalimpulssteuerung

Funktionsweise und Einzelheiten des Proportionalimpulsverfahrens wurden bereits in Teil I, Band 51 dieser Reihe, ausführlich erläutert und sind auch in [1] zu finden. Des-

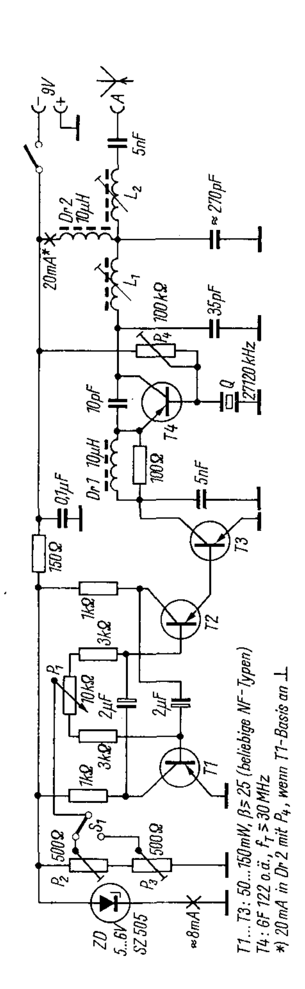


Bild 4 Kleinsender für Proportionalimpulssteuerung

halb wird das Prinzip nicht nochmals erläutert, sondern lediglich ein für dieses Verfahren bestimmter Sender als Gesamtschaltbild gezeigt (Bild 4).

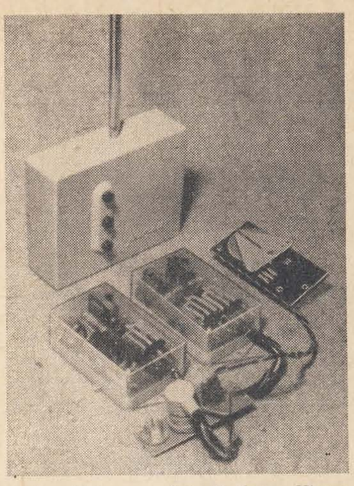
T1 und T2 bilden den Kommandogeber und sind als Multivibrator mit veränderbarem Impulstastverhältnis geschaltet. P1 ist der Kommandogeberegler. Die Impulsfrequenz liegt bei etwa 20 Hz. Der Sender wird demzufolge über den als Schalter arbeitenden Modulationstransistor T3 mit 20 Hz rechteckmoduliert. Da keine Trägertonmodulation vorgesehen ist, muß empfängerseitig die Auswertung entsprechend einer A-1-Funkübertragung erfolgen. Als Empfänger benutzt man meist ein Pendelaudion, dessen Rauschspannung (erscheint am Empfänger-NF-Ausgang im Takt der senderseitigen 20-Hz-Modulation) als Kommandosignal dient. Wie schon in Teil I, Band 51 dieser Reihe, erwähnt wurde, ist es eventuell vorteilhafter, mit einem Trägerton (700 bis 1000 Hz) der im 20-Hz-Rhythmus getastet wird, zu arbeiten. Die Schaltung Bild 4 kann nach den in Teil I und in [1] gegebenen Hinweisen und Schaltbeispielen leicht erweitert werden. Eine entsprechende Schaltungslösung ergibt sich bereits durch Kombination des Proportionalgebers (Bild 4) mit der Tongeneratorschaltung (Bild 1), wenn der Tongenerator T1 · · · T3 gemäß Bild 1 in die Schaltung nach Bild 4 eingefügt wird. In der Schaltung nach Bild 4 Kollektorleitung von T3 auftrennen und dort Kollektor sowie Emitter des T3 (Bild 1) einfügen!

Der Senderteil in Bild 4 ähnelt weitgehend dem in Bild 3 gezeigten, so daß sich nähere Erläuterungen erübrigen. T3 schaltet den Sender im Impulsrhythmus ein und aus. Die Sendeleistung liegt zwischen 20 mW und 30 mW. Die Einstellung des Arbeitspunkts für T4 erfolgt, indem Basis und Emitter bei T1 kurzgeschlossen werden. T2 und T3 sind dann geöffnet, und der Sender ist eingeschaltet. Dabei wird mit P4 auf einen Strom von 20 mA durch die HF-Drossel Dr2 eingestellt. Anschließend gleicht man L1 und L2 ab, wie bereits in Abschnitt 1.2. beschrieben. Die Spulendaten entsprechen den in Abschnitt 1.2. und für Bild 3 genannten.

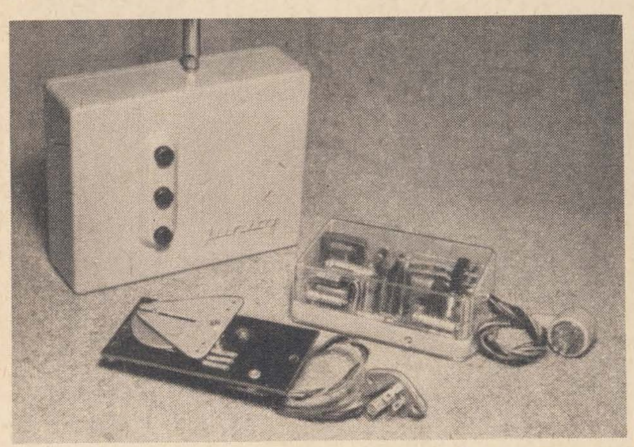
Der Proportionalimpulsgeber kann, wie Bild 4 das als Beispiel zeigt, mit S1 für 2 Frequenzen umschaltbar ausgelegt werden. P2 und P3 bestimmen diese beiden Impulsfrequenzen. Das Tastverhältnis der mit S1 gewählten Frequenz (die mittels Zenerdiode ZD konstantgehalten wird) läßt sich mit P1 regeln. Der Impulsfrequenzwechsel ist insbesondere dann wertvoll, wenn man empfängerseitig eine Proportionalauswertung ohne Flatterrelais vornimmt, wie sie z. B. in Abschnitt 2.5. beschrieben wird. Man kann dann auf einen Trägerton verzichten und die Proportionalfrequenz selbst auf einige hundert Hertz oder mehr steigern und gegebenenfalls im Empfänger selektive Tonkreise vorsehen. Reagieren sie auf die im Sender (Bild 4) mit S1 gewählten Frequenzen, so können sie das in beiden Frequenzen enthaltene Proportionalkommando auf 2 verschiedene Auswertestufen mittels ihrer Schaltrelais aufteilen. Man gewinnt dadurch 2 Proportionalkanäle und mehrere Ein/Aus-Kommandos mit einer relativ sehr einfachen Senderschaltung. Diese angedeutete Möglichkeit ergibt sich durch Vergleich der hier dargestellten Schaltungen mit den in Band 51 dieser Reihe und in [1] gezeigten Schaltungen in allen Einzelheiten.

1.4. 3-Kanal-Fernsteuersender Junior 3

Als Beispiel für einen Sender ohne Quarzsteuerung soll die Schaltung des bis Ende 1966 von der Fa. *Stuhrmann KG*, Freiberger Werkstätten für Elektromechanik, gefertigten und in den Handel gebrachten Funkfernsteuersenders *Junior 3* gezeigt werden, dessen Aufbau und Ansicht die Fotos erkennen lassen. Dieser in seiner Schaltungskonzeption sehr interessante Sender eignet sich für den erfahrenen Amateur gut zum Nachbau; die Beschreibung erfolgt mit freundlicher Genehmigung der Fa. *Stuhrmann KG*, der der Verfasser an dieser Stelle für die freundliche Überlassung aller Unterlagen dankt. Zusammen mit dem in Abschnitt 2.2. beschriebenen dazugehörenden Empfänger



Funkfernsteueranlage *Junior* 3 der Fa. *Stuhrmann KG*, Freiberg. Hinten der Sender mit aufgesteckter Stabantenne. Die 3 Kommandotasten sind zu sehen. Davor links Empfänger mit Pendelaudion und Tonkreisstufe. Mitte: Schaltzusatz mit weiteren 2 Tonkreisstufen. Rechts: Rudermaschine. Ganz vorn Verbindungsteckbrett für die Empfängerbaugruppen, das bei festem Einbau entfallen kann



Sender der *Junior* 3-Funkfernsteuerung (hinten) und 1-Kanal-Pendelempfänger mit Tonkreis (vorn rechts). Davor die Rudermaschine

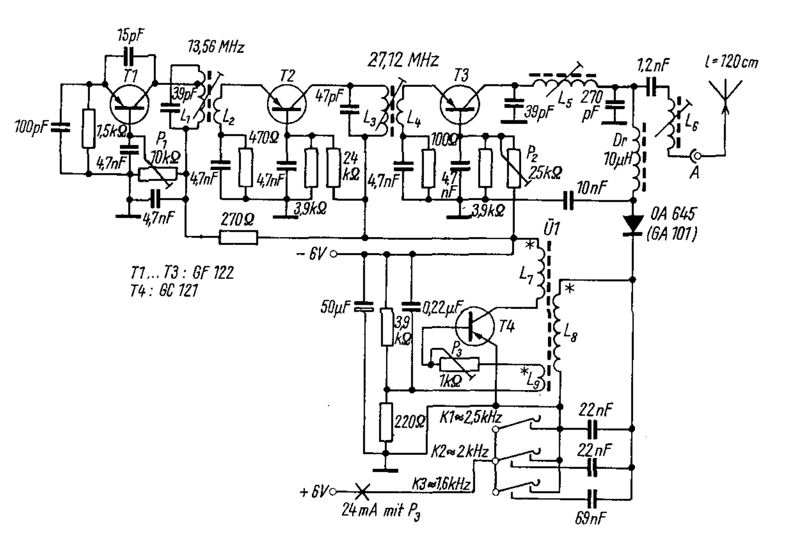
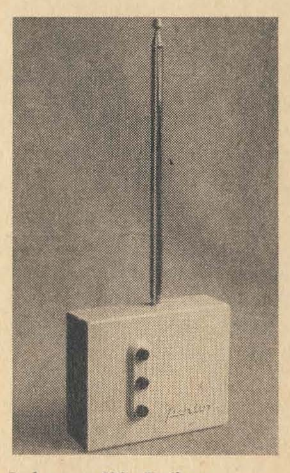
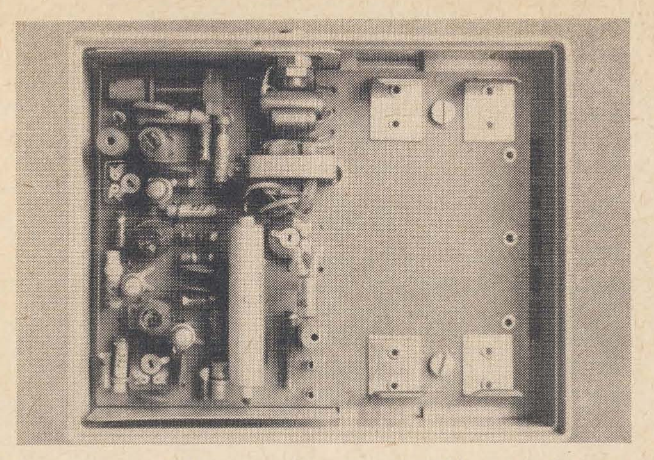


Bild 5 Schaltung des Fernsteuersenders der Funkfernsteuerung *Junior 3* (Fa. *Stuhrmann KG*, Freiberg)

ermöglicht diese Anlage bei optimalem Abgleich Reichweiten bis zu 300 m und mehr.
Der Sender, dessen Schaltung Bild 5 zeigt, wird aus 2 in Serie geschalteten 3-V-Stabbatterien gespeist und ist nur während der Kommandogabe (Kommandotasten K1, K2, K3) in Betrieb. Die Batteriestromaufnahme beträgt 24 bis 25 mA.
Der Oszillator mit T1 schwingt auf der halben Sendefrequenz (13,56 MHz). Sein Arbeitspunkt wird mit P1 auf einen Kollektorstrom von 1,5 mA in L1 eingestellt. In der folgenden Stufe (T2) erfolgt Frequenzverdopplung auf die Sendefrequenz 27,12 MHz. Durch diese Schaltungslösung und durch den angezapften Oszillatorschwingkreis (L1) bleibt der auf relativ niedriger Frequenz schwingende Oszillator auch bei Temperatur- und Speisespannungsschwankungen ausreichend frequenzstabil, wenn der Schwingkreis durch Wahl einer der Kreiskapazität mit geeignetem T_K-Wert temperaturkompensiert wird. Darin liegt einerseits die Schwierigkeit, die beim amateurmäßigen Nachbau derartiger, ohne Quarz freischwingender Oszilla-



Funkfernsteuersender *Junior* 3 der Fa. *Stuhrmann KG*, Freiberg



Innenaufbau des Funkfernsteuersenders *Junior* 3. Bild 5 zeigt die Schaltung. Die rechte Gehäusehälfte nimmt 2 Stück 3-V-Stabbatterien auf. Die linke Gehäusehälfte enthält den Sender, der im Betrieb mit einer (hier entfernten) Metallabschirmhaube verschlossen ist. Als Grundfläche dient die Leiterplatte. Links unten Oszillator T1 mit L1/L2, links Mitte Verdoppler T2 mit L3/L4, links oben Endstufe T3 mit L5 (im Foto in Aufsicht erkennbar) und L6 (links oben quer zu L5). Gehäusemitte oben die Antennensteckbuchse. Darunter Ü1 und (rechts Mitte) P3

toren stets auftritt und in der allgemeinen Amateurliteratur schon eingehend behandelt wurde. Andererseits beweist die gezeigte Schaltung, daß freischwingende Transistorsender durchaus nicht von vornherein abgelehnt werden müssen, da bei Einhaltung der gesetzlichen Vorschriften bezüglich Frequenzkonstanz usw. sogar eine Serienfertigung möglich war. Bemerkenswert in diesem Zusammenhang ist das Fehlen jeder besonderen Speisespannungsstabilisierung. Dem nachbauenden Amateur sei allerdings geraten, die Speisespannung für den Oszillator mittels Zenerdiode (z. B. Typ *ZA 250/5* parallel zu P1 und Verringerung des 270-Ω-Vorwiderstands von P1 auf etwa 50 bis 80 Ω) zu stabilisieren und eventuell den 39-pF-Schwingkreiskondensator an L1 aus mehreren Kondensatoren unterschiedlichen T_K-Wertes zu kombinieren. Voraussetzung

dafür ist eine ausreichend genaue Frequenzmeßeinrichtung für 27,12 MHz. Die Kondensatoren werden dann so ausgewählt, daß bei Schwankungen der Umgebungstemperatur innerhalb der vorkommenden Temperaturen (0 bis 40 °C) die Frequenzabweichung die zulässige Toleranz von 27,12 MHz ± 0,6 Prozent nicht überschreitet. Da dies einer zulässigen Frequenzänderung von maximal etwa 300 kHz entspricht, ist die Kompensation nicht allzu kritisch.

Der auf die Verdopplerstufe T2 folgende Kreis ist auf 27,12 MHz abgeglichen. L4 steuert die Endstufe an (T3), die einen π-Filter-Ausgang (L5) mit Antennenverlängerungsspule (L6) aufweist, wie er bereits in den vorangehenden Abschnitten beschrieben wurde. Der Abgleich erfolgt entsprechend, nachdem L1 und L3 bei den angegebenen Frequenzen auf Maximum abgeglichen sind, wechselseitig mit L5 und L6 auf maximale HF-Leistung. Auch in diesem Fall ist der Abgleich mit L5 zu beenden und darauf zu achten, daß L5 und L6 nicht aufeinander koppeln. Als Antenne wird eine Teleskopstabantenne von 120 cm Länge benutzt. Die verhältnismäßig unkritische Einstellung von P2 erfolgt ebenfalls auf maximale Sendeleistung.

Diese Schaltung zeigt auch eine interessante Lösung für den Modulator. Damit eine möglichst hohe Sendeleistung erreicht wird, ist eine hohe Kollektorspannung für die Endstufe von Vorteil (Einzelheiten dazu sinngemäß in [3]). Da die Betriebsspannung in diesem Fall nur 6 V beträgt, erzeugt man die Kollektorspannung von etwa 13 V mittels Transverter (T4 und Ü1). Dieser ist als Eintaktstromflußwandler geschaltet [1], an dessen Sekundärwicklung L8 je nach betätigter Kommandotaste, K1 · · · K3, eine Kapazität verschiedener Größe angeschaltet wird, die die Frequenz des Transverters bestimmt. Die von L8 abgegebene Spannung ist mittels Diode gleichgerichtet und hinter dieser mit einem 10-nF-Kondensator absichtlich ungenügend gesiebt. Die hinter der Diode verfügbare Kollektorgleichspannung für die Endstufe T3 bildet daher eine im Takt der Transverterfrequenz pulsierende Spannung mit näherungsweise trapezförmigem Kurvenverlauf.

Sie bewirkt eine der Rechteckmodulation vergleichbare, nahezu 100prozentige Modulation der Endstufe. Durch Auslegung des Kommandogebers als einen auf der Kommandofrequenz schwingenden Transverter erhält man ohne besonderen Aufwand für Kommandogeber oder Modulator eine sozusagen gebrauchsfertig modulierte hohe Kollektorspannung für die Endstufe. Dadurch kommt der Sender trotz mehrstufigen Aufbaus, eines auf halber Sendefrequenz schwingenden Oszillators und beachtlicher Senderleistung mit insgesamt nur 4 Transistoren aus.

Die Kommandofrequenzen, die sich mit den angegebenen C-Werten an L8 ergeben, sind in Bild 5 aufgeführt. Mit P3 wird der Transverter so eingestellt, daß sich eine Batteriestromaufnahme von etwa 24 mA ergibt.

Für die Schwingkreise (L1···L5) werden Spulenkörper Nr. 2016 (Hersteller HFW Meuselwitz) mit Abgleichkern 3 $\times$ 7, Manifer 220, benutzt. L6 wird auf einen Spulenkörper Nr. 15 042 desselben Herstellers, Abgleichkern 3,5 $\times$ 15 Manifer 140, gewickelt. Der Transvertertransformator Ü1 besteht aus einem Kernpaar EE 20, Manifer 140, mit Spulenkörper M 20/1 (VEB *Preßwerk* Motzen). Für diese Spulen und Kerne gelten die nachstehend genannten Wickelangaben:

L1 = 20 Wdg., 0,28-mm-CuL,
Anzapfung bei 6,5 Wdg.;

L2 = 1,75 Wdg., 0,28-mm-CuL

L3 = 11 Wdg., 0,38-mm-CuL

L4 = 1,75 Wdg., 0,38-mm-CuL

L5 = 13 Wdg., 0,38-mm-CuL

L6 = 24 Wdg., 0,38-mm-CuL
($\approx$ 3 μH) für Antennenlänge 120 cm

L7 = 180 Wdg., 0,2-mm-CuL

L8 = 500 Wdg., 0,12-mm-CuL

L9 = 45 Wdg., 0,12-mm-CuL

Selbstverständlich lassen sich auch andere Spulen verwenmen, wenn die Kreise für die angegebenen Frequenzen bzw. Induktivitäten ausgelegt und dabei die angegebenen Kreiskapazitäten etwa beibehalten werden. Weicht man mit den Modulationsfrequenzen wesentlich von 1,5 bis 2,5 kHz ab, so ist (außer Änderung der Parallelkapazitäten zu L8) eventuell der 10-nF-Kondensator zwischen Diode und Drossel Dr zu vergrößern bzw. zu verkleinern, um die näherungsweise Mäanderform der Kollektorspannung für T3 zu gewährleisten. Dr ist die bekannte kleine Ferritkern-„Entstördrossel". (Weitere Schaltbeispiele für HF-Fernsteuersender in [4] sowie in der in Band 51 angegebenen Literatur.)

2. Funkfernsteuerempfänger

Wie schon in Teil I begründet, ist das Pendelaudion nach wie vor der Typ des „Standard"-Empfängers für Modellfunkfernsteuerungen. Der Pendler ermöglicht bei sorgfältiger Dimensionierung sehr gute Empfindlichkeit, die der eines Supers kaum nachsteht. Ein Super dagegen ist weit aufwendiger und erfordert auch einen frequenzstabilen, d. h. quarzgesteuerten Sender. Trotz der Nachteile, die das Pendelaudion aufweist (Störstrahlung), wird diesem deshalb fast immer der Vorzug gegeben.

Für den weniger erfahrenen Fernsteueramateur sei an dieser Stelle nochmals erwähnt, daß die Reichweite einer Funkfernsteuerung nicht in erster Linie von der Senderleistung, sondern entscheidend von der praktisch nutzbaren Empfängerempfindlichkeit abhängt. Es ist kaum von Bedeutung, wenn die Leistung eines Fernsteuersenders beispielsweise von 25 mW auf 30 mW oder 35 mW erhöht wird. Ein Sender muß zwar sorgfältig auf maximale Leistungsabgabe dimensioniert sein (das gilt auch für die exakte Anpassung der Sendeantenne!), doch der Fernsteueramateur sollte sich von Versuchen, aus einem vorhandenen Sender mit großer Mühe noch einige Milliwatt mehr „herauszulocken", nicht allzuviel versprechen. Es lohnt sich dagegen, etwas mehr Mühe auf die Konstruktion des Empfängers zu verwenden. Dabei sollte man versuchen, durch genaue Werterprobung aller Bauelemente – insbesondere der die Pendelfrequenz und -amplitude bestimmenden! – eine möglichst hohe Empfindlichkeit zu erreichen. Wie fast immer in der HF-Technik, ist auch beim Pendelaudion nicht allein die „gute" Schaltung der Weg zum Erfolg, sondern mindestens ebenso wichtig sind sachgerechter Aufbau und optimale Dimensionierung. Das Pendelaudion weist eine relativ einfache Schaltung auf, denn es handelt sich um eine 1stufige Schaltung mit rela-

tiv wenigen und kurzen hochfrequenzführenden Leitungen, die ohne weiteres so gedrängt aufgebaut werden kann, daß sich kürzeste Verbindungswege für alle Leitungen ergeben.

Dagegen ist beim Pendler die optimale Dimensionierung entscheidend. Dazu kann eine Schaltung grundsätzlich nur Richtwerte angeben, weil die Exemplardaten des benutzten Transistors, Toleranzen der übrigen Bauelemente usw. von erheblichem Einfluß sind. Das betrifft insbesondere die Erzeugung der Pendelfrequenz, der häufig nicht die notwendige Aufmerksamkeit gewidmet wird. Nahezu alle üblichen Pendler arbeiten selbsterregt, d. h., der HF-Transistor erzeugt zugleich die Pendelschwingung. Häufig geschieht das durch Anwendung von RC-Gliedern in der Basis- oder Emitterleitung, wobei die Stufe für die Pendelfrequenz ein multivibrator- oder sperrschwingerähnliches Verhalten zeigt. Die Pendelfrequenz ist in diesen Fällen selten sinusförmig oder sägezahnförmig, wie sie es im Hinblick auf optimales Arbeiten des Empfängers sein sollte. Mit einer Pendelstufe, die beispielsweise durch nadelimpulsähnliche Pendelschwingungen stets nur kurz aufgetastet wird, läßt sich kaum optimale Empfindlichkeit erreichen. In Fällen mangelhafter Empfindlichkeit ist der Amateur dann oft versucht, die Ursache in den hochfrequenzwirksamen Bauteilen (Schwingkreis, Antenne usw.) zu suchen. Das *kann, muß* aber nicht die Ursache sein. Es empfiehlt sich deshalb, nicht nur diese Bauteile zu untersuchen bzw. auszutauschen, sondern auch die pendelfrequenzbestimmenden Glieder zu variieren, eventuell die Pendelfrequenz auf einen anderen Wert festzulegen oder den Arbeitspunkt des Transistors zu verändern, um eine günstigere Form der Pendelschwingung zu erreichen. Ein Oszillograf leistet dabei vorzügliche Dienste, aber auch ohne ihn kommt der Amateur durch geduldiges Probieren zum Ziel. Es sei nochmals betont: Diese Probleme sind keine ausschließlich schaltungsbedingten Fragen! Es ist daher auch nicht möglich, dem Amateur mit „genauen Wertangaben" im Schaltbild das eigene „Hintrimmen auf Höchstleistung" abzunehmen. Die Schaltung erlaubt ihm

lediglich im voraus ein ungefähres Abschätzen, mit welchen Problemen er bei der Erprobung eventuell zu rechnen hat. Es ist relativ leicht, einen Pendelempfänger zum Arbeiten zu bringen, aber es erfordert mitunter viel Geduld und stets ein wenig Erfahrung, ihn auf beste Empfindlichkeit zu „trimmen", Darum wird heute noch vielfach angenommen, mit einem Pendelempfänger müsse der zugehörige Sender für 100 mW und mehr ausgelegt sein, damit man Reichweiten von 200 bis 300 m erhält. Das mag zutreffen für einen Pendler, der schlecht und recht „geht"; ein wirklich guter Pendler benötigt jedoch (selektive Kommandoauswertung und ausreichende Nachverstärkung vorausgesetzt) nur wenige Mikrovolt Antennenspannung zum einwandfreien Arbeiten.

Gelegentlich wird unter Fernsteueramateuren über die „richtige" Pendelfrequenz diskutiert, die „empfohlenen" Werte dafür reichen von wenigen Kilohertz bis zu einigen hundert Kilohertz. Tatsächlich spielt der Absolutwert der Pendelfrequenz für die Funktion eines 27,12-MHz-Pendelaudions im Prinzip keine Rolle (soweit die stets vorhandene Pendelfrequenz nicht den nachfolgenden Kommandoauswerter störend beeinflußt, was von seiner Auslegung abhängt; höhere Pendelfrequenzen erleichtern im Hinblick darauf die Aussiebung). Von Fall zu Fall ist *die* Pendelfrequenz die „richtige", die optimale Empfindlichkeit ergibt, d. h., bei der die benutzte Schaltung und die verwendeten Bauelemente sowie der für den Transistor gewählte Arbeitspunkt die günstigste Kurvenform aufweisen, denn damit bleibt das Audion je Pendelperiode möglichst lange optimal entdämpft. Ob die Pendelfrequenz mit RC-Gliedern, mit LC-Kreis oder auf anderem Wege erzeugt wird, ist primär nebensächlich, die Art der für die jeweilige Schaltung gewählten Pendelfrequenzerzeugung daher auch kein unmittelbares Merkmal für ihre Leistungsfähigkeit. Diese umfangreiche Problematik kann nur angedeutet werden. Kenntnis aller ihrer Einzelheiten ist für den Modellfunkamateur auch nicht so wichtig wie das Wissen um die prinzipiellen Zusammenhänge.

Die Störstrahlung eines Pendelaudions wirkt sich zunächst nur dann nachteilig aus, wenn mehrere einander benachbarte Pendelempfänger zugleich betrieben werden sollen. Darüber hinaus darf eine erhebliche Störstrahlung auch mit Rücksicht auf die Vorschriften der Deutschen Post nicht auftreten. Im allgemeinen entsprechen die üblichen Pendlerschaltungen jedoch den gesetzlich zulässigen Werten, ohne daß besondere Maßnahmen erforderlich sind. Es kommt aber nicht selten vor, daß die Pendlerstörstrahlung weiter reicht als die Strahlung des dazugehörenden Senders! Allgemein wird die Empfängerantenne über einen kleinen Kondensator entweder an den Kollektor oder an den Emitter des Pendlertransistors angekoppelt. Die Ankopplung an den Emitter sollte man dabei in jedem Fall vorziehen: Sie ergibt nicht nur geringe Störstrahlung, sondern auch die Rückwirkung der Antenne auf die Pendlerabstimmung ist dann nur noch gering. Der Empfänger arbeitet daher mit emitterseitig angekoppelter Antenne stabiler und weist meist auch höhere Empfindlichkeit auf als bei Kollektorankopplung.

Die Empfängerantenne wird nicht besonders abgestimmt und ist relativ unkritisch. Für den 27,12-MHz-Bereich sind Längen von 60 bis 80 cm optimal. Je nach Modellform benutzt man meist eine Litzen- oder Drahtantenne, die selbstverständlich größtmöglichen Abstand von anderen leitenden Gegenständen haben soll.

Zur Entstörung von Motoren und anderen Antriebsorganen (Relaiskontakte als mögliche Störquellen beachten!) wurden in Teil I bereits die notwendigen Hinweise gegeben. Mit steigender Empfängerempfindlichkeit ist dieser Entstörung besonderes Augenmerk zu widmen. Wenn es das Modell raum- und gewichtsmäßig erlaubt, sollten für Empfänger mit Auswerter sowie für den Antrieb (Motoren und Relais mit Ausnahme der direkt in den Empfängerstromkreisen liegenden) getrennte Batterien vorgesehen werden. Den Pendelempfänger baut man zunächst versuchsweise auf und bringt ihn dann auf Höchstleistung. Danach erfolgt der endgültige Einbau. Feinabgleich der im

Empfänger vorhandenen Abgleichpunkte, mindestens aber des Schwingkreises für die Empfangsfrequenz, muß auch bei startklar eingebautem Empfänger noch möglich sein. Im übrigen wurden bereits in *Fernsteuerexperimente* Teil I allgemeine Hinweise für Konstruktion und Bau von Transistorpendlern gegeben.

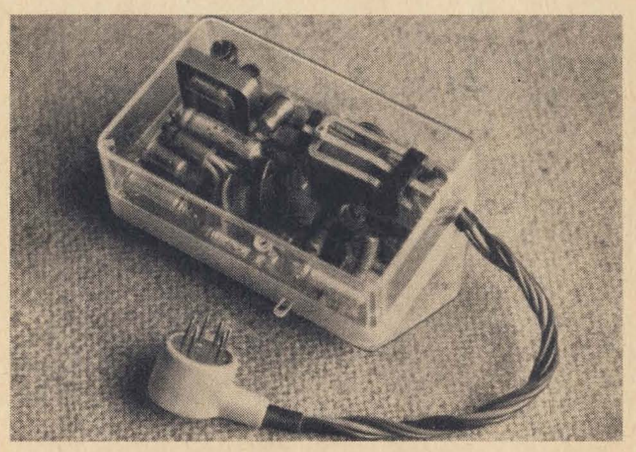
2.1. 1-Kanal-Pendelempfänger

Ein Schaltbeispiel für einen 1-Kanal-Pendelempfänger findet der Leser ebenfalls bereits in Teil I; eine weitere Pendlerschaltung in [4]. Auch die übrigen angegebenen Literaturstellen bringen zahlreiche entsprechende Schaltbeispiele. Im Sinne der in Teil I benutzten Klassifikation unterscheiden sich 1-Kanal- und Mehrkanalempfänger lediglich in Zahl und Art ihrer Kommandoauswertestufen, jedoch nicht im HF-Teil. Der eigentliche Empfänger ist also stets ein Transistorpendelaudion, an dessen NF-Ausgang eines oder mehrere Kommandosignale als NF-Signale abgenommen werden. Man kann daher prinzipiell jede Einkanalanlage durch Hinzufügen weiterer Auswertestufen (z. B. Tonschaltkreise) zur Mehrkanalanlage erweitern. Dementsprechend läßt sich umgekehrt die Schaltung für eine einfache 1-Kanal-Anlage aus einer Mehrkanalschaltung gewinnen, indem man von dieser lediglich den Komplex des eigentlichen Pendelempfängers und einen der vorhandenen Auswerter (nur ein Tonschaltkreis oder je nach Steuerverfahren nur eine Schaltstufe unter Verzicht auf die für Mehrkanalbetrieb erforderlichen Selektionsglieder) benutzt. Deshalb wird keine besondere Schaltung für einen 1-Kanal-Empfänger angegeben. Als Beispiel sei auf die im folgenden Abschnitt beschriebene Schaltung verwiesen. Der in Bild 6 gezeigte 3-Kanal-Empfänger läßt sich zum 1-Kanal-Empfänger vereinfachen, indem nur eine der 3 Tonkreisstufen (z. B. Rel I, T4 bis Anschluß P2) benutzt wird und die anderen (Rel II, III, T5, T6) entfallen. Gegebenenfalls kann man dann auch auf die Begrenzerstufe T3 verzichten und P2 direkt am Kollektor T2 anschließen. Der auf

diese Weise entstandene 1-Kanal-Empfänger enthält dann nur noch 3 Transistoren und 1 Relais. Ähnlich ist zu verfahren, will man andere Schaltungen seinen persönlichen Wünschen oder speziellen Anforderungen entsprechend abändern.

2.2. 3-Kanal-Fernsteuerempfänger Junior 3

In Abschnitt 1.4. wurde der industriell gefertigte Fernsteuersender *Junior 3* erwähnt. Zu dieser *Junior-3*-Anlage gehört neben dem Sender auch der im folgenden beschriebene Empfänger, dessen Schaltung Bild 6 zeigt. Sie kann als typisches Beispiel für eine Mehrkanalanlage einfacher Art mit Tonschaltkreisen dienen und eignet sich, auch wenn nur einzelne Funktionsgruppen davon benutzt werden, gut zum amateurmäßigen Nachbau. Dieser Empfänger gliedert sich in Pendelaudion T1 mit NF-Verstärkerstufe T2, eine Begrenzerstufe T3, die nur zum Betrieb mehrerer



Fernsteuerempfänger der *Junior-3*-Anlage. Anschluß erfolgt über 7poligen Miniaturröhrensockel. Im Gehäuse rechts hinten das Relais des Tonschaltkreises. Links hinten die Resonanzkreisspule. Das Audion sitzt rechts vorn, dort herausragend die Lötöse für den Antennenanschluß

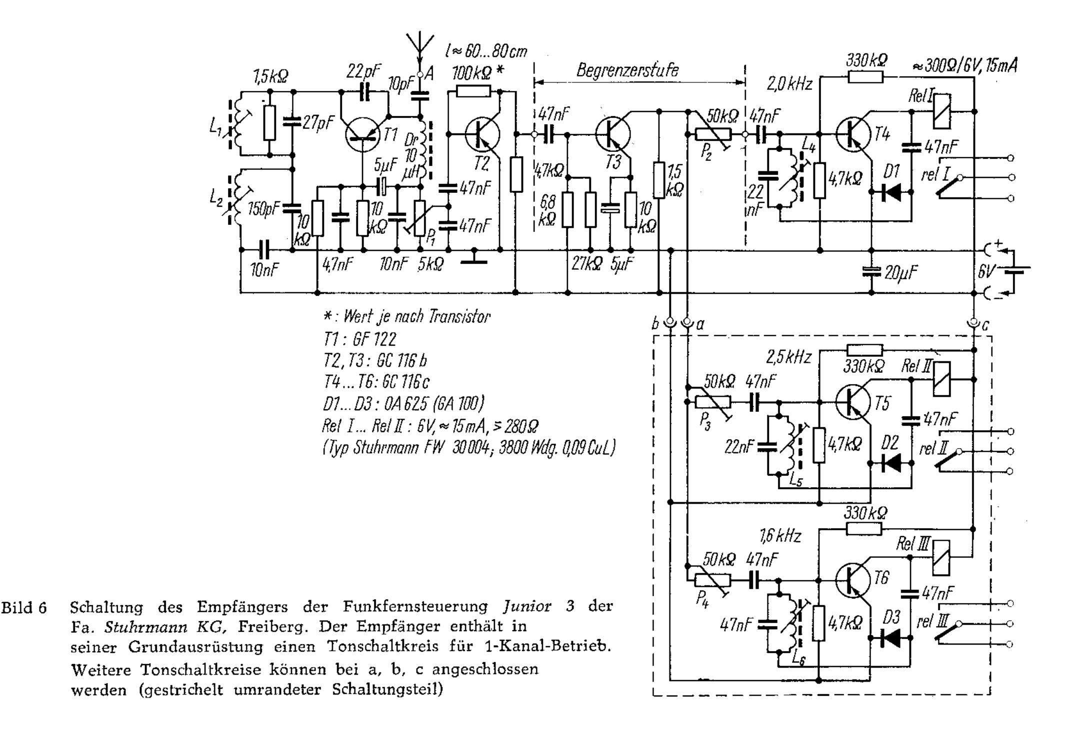
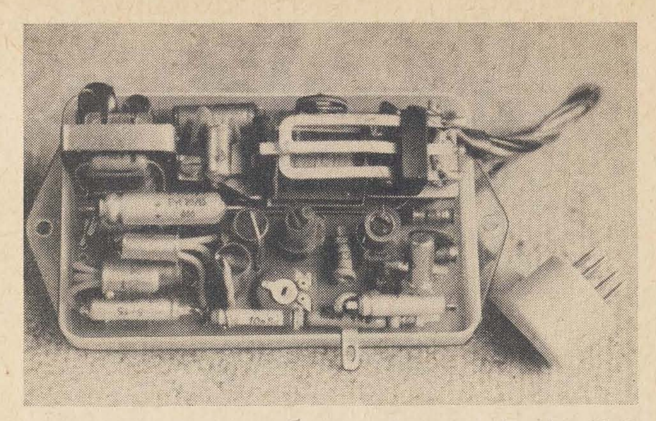


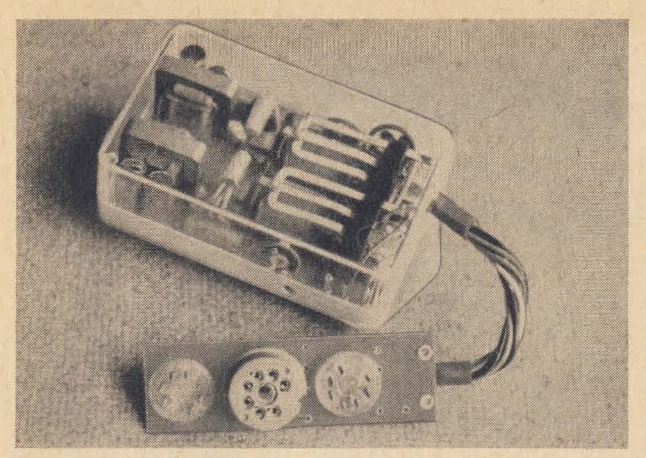
Bild 6 Schaltung des Empfängers der Funkfernsteuerung *Junior 3* der Fa. *Stuhrmann KG*, Freiberg. Der Empfänger enthält in seiner Grundausrüstung einen Tonschaltkreis für 1-Kanal-Betrieb. Weitere Tonschaltkreise können bei a, b, c angeschlossen werden (gestrichelt umrandeter Schaltungsteil)



Innenansicht des Funkfernsteuerempfängers *Junior 3*. Rechts oben Schaltrelais. Links oben Tonkreisspule L4. Ihr Kern wird mit Spannband gehalten; im Kernspalt ist ein Gummibändchen eingelegt. Mit dem Spannband kann die Spule durch Luftspaltänderung abgestimmt werden. Die Spannbandschraube für diesen Abgleich ist rechts neben dem Spulenkern zu sehen. Rechts vorn das Pendelaudion. Die Antennenschlußlötöse ragt unten heraus. Über ihr (rechts unterhalb des Relais) L1, über der Lötöse links L2. Schaltung des Empfängers siehe Bild 6

nachgeschalteter Tonkreisstufen erforderlich ist, und den 3 Kommandoauswertern (Tonkreisstufen) T4···T6. Nach Bedarf können bei den Punkten a···c auch noch weitere gleichartig geschaltete Auswerterstufen angeschlossen werden; es wäre also eine reine Aufwandsfrage, diesen Empfänger beispielsweise für 10 Kommandokanäle auszulegen.

Das Pendelaudion (T1) arbeitet mit emitterseitig angekoppelter Antenne und festeingestelltem Arbeitspunkt. Das ist möglich, weil die Pendelfrequenz, abweichend von der Mehrzahl der in der Amateurliteratur beschriebenen Pendlerschaltungen, nicht mit einem RC-Glied in Basis- oder Emitterleitung allein, sondern durch einen zusätzlichen LC-Kreis L2 erzeugt wird. Zusammen mit dem 5-μF-Emitterkondensator (dessen Wert versuchsweise etwas geändert werden kann, um maximale Empfindlichkeit zu erreichen) ergibt sich dadurch eine Sperrschwingerschal-



Schaltzusatz mit 2 Tonkreisschaltstufen für den Empfänger *Junior 3* (gestrichelt umrandeter Schaltungsteil in Bild 6), fest verbunden mit einem Anschlußsteckbrett für Empfänger, Rudermaschine und Batterie

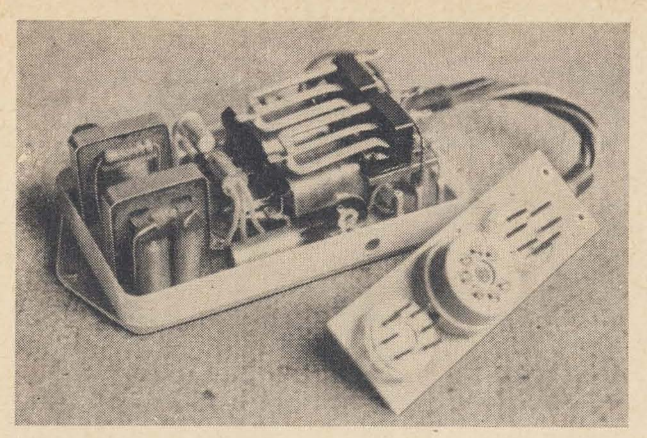
tung mit einer verhältnismäßig hochliegenden Pendelfrequenz in der Größenordnung um 100 kHz, die an der Basis-Emitter-Strecke von T1 mit sägezahnförmigem Verlauf auftritt.
Da im Kollektorkreis 2 Resonanzkreise*) vorhanden sind und sich ein solcher Oszillator stets auf der Frequenz erregt, deren Schwingkreis die höhere Güte hat, ist der Pendelfrequenzkreis auf hohes L/C-Verhältnis ausgelegt und der Empfangsfrequenzkreis zusätzlich mit einem Widerstand von 1,5 kΩ bedämpft. Dieser Widerstand gehört daher mit zu den Bauelementen, deren Werte sich im Hinblick auf maximale Empfindlichkeit variieren lassen; er soll jedoch nicht wesentlich vergrößert werden, da sonst unter Umständen keine stabile Pendelschwingung zustande kommt. L2 hat auf den Wert der Pendelfrequenz relativ geringen Einfluß, und man braucht ihn daher nicht

*) L1 für die Empfangsfrequenz 27,17 MHz; mit Spulenkern von L1 erfolgt Abstimmung auf den Sender; L2 für die Pendelfrequenzerzeugung.

besonders genau abzugleichen. Die Pendelfrequenz ist eine Kippfrequenz, wobei L2 nur einen Hilfskreis für die Kippschwingungserzeugung darstellt, aber keinen Resonanzkreis für die Pendelfrequenz selbst!

Der Rückkopplungskondensator 22 pF zwischen Kollektor und Emitter soll nicht größer sein, als zum Anschwingen auf der Empfangsfrequenz erforderlich. Praktisch geht man so vor, daß man diesen Kondensator zunächst vergrößert, bis am Ausgang das für den arbeitenden Pendler typische Rauschen hörbar wird (ohne Sender!). Danach dimensioniert man bei arbeitendem Sender und an der Reichweitengrenze (oder mit stark verkürzter Sendeantenne) diesen Rückkopplungskondensator zusammen mit dem 5-μF-Elektrolytkondensator und dem 1,5-kΩ-Dämpfungswiderstand an L1 auf maximale Empfindlichkeit.

Diese Pendlerschaltung hat den Vorzug, daß sie sich relativ leicht beherrschen läßt und bei exaktem Aufbau sowie Abgleich sehr zuverlässig und mit ausgezeichneter Empfindlichkeit arbeitet. Dabei ist die Abhängigkeit von den Transistorexemplardaten im Verhältnis zu anderen Pendlerschaltungen relativ gering (Voraussetzung für den serienmäßigen Bau dieser Anlage!). Ein gewisser Nachteil für den amateurmäßigen Nachbau besteht eventuell in der erforderlichen, relativ hohen Induktivität von L2, die bei Verwendung sehr kleiner Spulen eine etwas schwierige Wickelarbeit erfordert. Die Daten der Originalspulen des *Junior*-3-Pendelempfängers sind: L1 = 13 Wdg., 0,38-mm-CuL, auf Spulenkörper Nr. 1542 (VEB *Hochfrequenzwerkstätten* Meuselwitz) mit Kern 3 × 7 Manifer 220; L2 = 1000 Wdg., 0,04-mm-CuL, auf Spulenkörper Nr. 1542 (VEB *Hochfrequenzwerkstätten* Meuselwitz) mit Kern 3 × 15 Manifer 140. Dr ist eine übliche kleine 10-μH-„Entstördrossel" von Modellbahnmotoren. L2 hat eine verhältnismäßig unkritische Windungszahl, ± 10 Prozent Abweichung sind ohne weiteres zulässig. Bei Verwendung des angegebenen Spulenkörpers kann man jedoch keinen stärkeren Draht benutzen, da dieser Körper mit 1000 Wdg., 0,04-mm-CuL-Draht, bereits vollständig ausgefüllt ist.



Schaltzusatz mit 2 Tonkreisen, Abdeckhaube entfernt

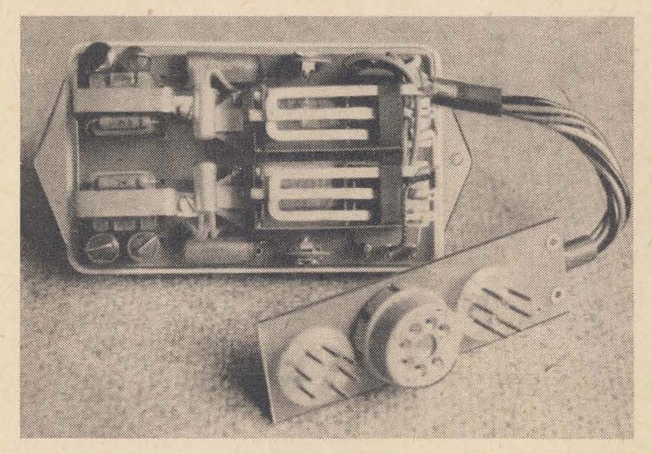
Die Einstellung von P1, dem Abgleichregler für die NF-Ausgangsspannung, ist verhältismäßig unkritisch. Wenn die Begrenzerstufe T3 beibehalten wird, kann P1 eventuell durch 2 gleich große Festwiderstände (je etwa 2,5 kΩ) ersetzt werden. Der hinter P1 gegen Masse liegende 47-nF-Kondensator genügt zum Aussieben der relativ hohen Pendelfrequenz, so daß am Kollektor der NF-Verstärkerstufe T2 nur noch das Sendersignal oder bei fehlendem Empfang das Pendlerrauschen vorhanden ist.

T2 kann ein beliebiger NF-Typ sein. Der verhältnismäßig unkritische Basiswiderstand wird so gewählt, daß am Kollektor etwa die halbe Batteriespannung steht. Der Empfänger ist mit der angegebenen Dimensionierung zwischen 4,5 und 7 V Batteriespannung betriebsfähig und auf Änderungen der Betriebsspannungen weitestgehend unempfindlich.

Die Begrenzerstufe T3 bewirkt, daß die nachfolgenden Auswerterstufen auch im Nahbereich des Senders nicht übersteuert werden können. T3 wird zu diesem Zweck mit „hochgelegtem" Emitter und sehr geringer Kollektorspannung betrieben (Größenordnung der Betriebswerte für T3:

$U_{CE} \approx 0{,}5\,V$, $I_C \approx 0{,}5\,mA$). Ein besonderer Abgleich dieser Stufe entfällt.

Auf den Begrenzer folgen 3 gleichartig geschaltete, eingangsseitig bei a, b, c parallelliegende Auswerterstufen. Es handelt sich um die bereits in Teil I beschriebenen Tonresonanzschaltkreise (*Schumacher*-Stufen), die auch in [2] näher behandelt wurden. Sie sind bei der *Junior*-3-Anlage, entsprechend den Sender-Modulationsfrequenzen, für 1,6 kHz, 2 kHz und 2,5 kHz ausgelegt. Die Funktion wird an der Stufe mit T4 und Rel I erläutert. Bei der Serienausführung der Originalanlage ist dieser Tonkreis zusammen mit Begrenzer und Empfänger als kompletter Baublock aufgebaut, wie die Fotos in diesem Band zeigen. Die über a···b anzuschließenden zusätzlichen Tonkreisstufen werden als getrennter „Schaltzusatz" hergestellt. Die Anlage kann also wahlweise als 1-Kanal- oder 3-Kanal-Anlage betrieben werden.



Innenansicht des Schaltzusatzes für 2 Tonkreise (gestrichelt umrandeter Teil in Bild 6). Je Tonkreis rechts das Relais, links die Tonkreisspule, die mit Spannband abgestimmt wird. Die Spannbandschraube zur Abstimmung ist rechts neben der Spule zu erkennen

L4 wird zusammen mit dem 22-nF-Parallelkondensator als Resonanzkreis für die betreffende Kommandofrequenz ausgelegt. T4 ist im Ruhezustand gesperrt, Rel I abgefallen. Für jede Frequenz, mit Ausnahme der Resonanzfrequenz, ist der Schwingkreis niederohmig; es kommt eine starke Gegenkopplung vom Kollektor auf die Basis und damit nahezu keine Verstärkung zustande.

Bei der Resonanzfrequenz sperrt der Schwingkreis, die Gegenkopplung entfällt, und die damit am Kollektor auftretende verstärkte Kommandofrequenz wird über D1 gleichgerichtet.

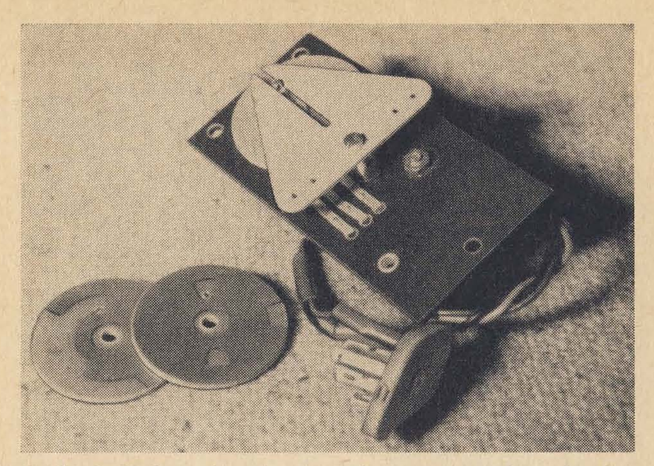
Die von D1 erzeugte Richtspannung gelangt über L4 mit negativer Polarität an die Basis von T4 und regelt diesen Transistor nach höherem Kollektorstrom, wodurch seine Verstärkung weiter ansteigt. Dieser Vorgang „schaukelt sich auf", bis T4 durchgesteuert ist und Rel I anzieht. Kontakt rel I löst dann den dieser Kommandofrequenz zugeordneten Schaltvorgang aus.

Der 330-kΩ-Basiswiderstand für T4 bleibt relativ unkritisch. Empfehlenswert ist für die Transistoren in den Tonkreisstufen ein nicht zu geringer β-Wert (möglichst über 60 bis 70!).

Der Basiswiderstand wird so festgelegt, daß im Ruhezustand die Spannung am Relais zwischen 0,1 und 0,3 V liegt, d. h. daß T4 noch etwa 0,5 mA Kollektorstrom im Ruhezustand aufnimmt. Rel wirkt für die Signalfrequenz gleichzeitig als NF-Drossel (Kollektorarbeitswiderstand). Ebenso arbeiten die übrigen Tonkreisstufen.

Besondere Bedeutung kommt dem Kondensator zwischen Kollektor und Diode (47 nF in Bild 6) zu. Wird dieser Wert erheblich vergrößert (Elko 1 bis 10 μF), so läßt sich eine Reaktionsträgheit der Schaltstufe erreichen, womit Relaisflattern oder Ansprechen auf kurze Störimpulse verhindert werden können.

Der am Eingang der Tonkreisstufe angeordnete Trimmregler P2 (P3, P4) dient zur Empfindlichkeitseinstellung der Schaltstufe und verhindert Rückwirkungen der einzel-



Ansicht der Rudermaschine der Fa. *Stuhrmann KG,* Freiberg. Am dreieckigen Rudersegment werden die Ruderseile befestigt. Darunter liegt die auswechselbare Schaltscheibe. 2 weitere Scheiben sind im Foto einzeln zu sehen. Je nach aufgesetzter Scheibe ergeben sich folgende Betriebsarten:

Scheibe 1 = 1 × tasten: links, Aus: Nullstellung, 1 × tasten: rechts, Aus: Nullstellung, usw.;

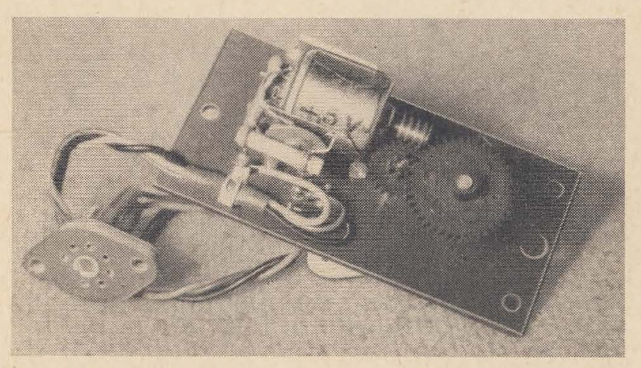
Scheibe 2 = 1 × tasten: links, Aus: Nullstellung, 2 × tasten: rechts, Aus: Nullstellung, usw.;

Scheibe 3 erlaubt kontinuierliche Links- und Rechtssteuerung ohne Neutralisierung bei 2-Kanal-Betrieb.

nen Schaltstufen aufeinander. Man stellt diese Regler so ein, daß bei fehlendem Signal das vom Pendler abgegebene Rauschen noch nicht zu Relaisflattern in den Schaltstufen führt.
Die Resonanzkreise in den Schaltstufen sind verhältnismäßig schmalbandig. Dies ermöglicht gute Kanaltrennung auch bei geringen Frequenzabständen, erfordert jedoch im Sender eine entsprechend konstante Kommandofrequenzerzeugung. Die Kreise L4, L5, L6 müssen entsprechend genau auf die Signalfrequenzen abgestimmt werden, falls man nicht den umgekehrten Weg geht und die Sender-Frequenzen auf die mit Festkondensatoren grob abgeglichenen Tonkreis-Resonanzfrequenzen abstimmt.

In solchen Fällen kann man für L4 bis L6 nichtabstimmbare Spulenausführungen verwenden. Für Frequenzen um 1 bis 2 kHz eignen sich die bekannten *Sternchen*-Treiberübertrager K 20, die mit einer ihrer Wicklungen anzuschließen sind. Die passende Wicklung wählt man je nach Frequenz so, daß sich für den Parallelkondensator Werte von 20 bis 40 nF ergeben (z. B. Anschlüsse grün-grün mit C = 22 nF entspricht etwa 1 kHz).

Sind die Senderfrequenzen fest gegeben wie beim *Junior-3*-Sender, so muß man den Tonkreis abgleichen. Die Spulen L4 · · · L6 bestehen dann aus jeweils 2 E-Kernen, die mit Spannband und Schraube auf der Unterlage befestigt werden. Dabei wird in einem Seitenspalt der aufeinandergesetzten E-Kerne ein dünner Gummifaden eingelegt, der bei gelockertem Spannband einen Luftspalt von etwa 1 mm bewirkt. Durch Anziehen der Spannbandschraube, die als Abgleichschraube dient, werden die E-Kerne zusammengepreßt, der Luftspalt zwischen ihnen verringert sich, und damit steigt die Induktivität. Nach diesem Prinzip läßt sich also auch bei Spulen höherer Induktivitätswerte der gewohnte Feinabgleich mit Schraubenzieher realisieren.



Unteransicht der Rudermaschine. Der funkentstörte Motor treibt über Schneckentrieb und Untersetzungsgetriebe die auf der anderen Plattenseite befindliche Schaltscheibe und das Rudersegment an

Wegen der sehr schmalbandigen Kreise ist dieser Abgleich relativ kritisch. Beim Fehlen von Meßmitteln gleicht der Amateur wiederum auf maximale Empfindlichkeit für jeden Kanal an der Reichweitengrenze der Übertragung ab. Ergibt sich das Maximum in einer Endstellung der Spannbandschraube, so wird der Parallelkondensator etwas vergrößert oder verringert und anschließend der Abgleich wiederholt.

L4, L5 und L6 werden gewickelt mit 1100 Wdg., 0,12-mm-CuL, auf Spulenkörper der Größe M 20/1 (VEB *Preßwerk* Motzen) mit Kernpaar EE 20, Manifer 140 (VEB *Keramische Werke* Hermsdorf). Die beschriebene Abgleichmethode kann man sinngemäß auch mit einem geänderten K-20-Übertrager durchführen, wenn dessen Kernpaket einseitig gestapelt und in geeigneter Weise gehaltert wird.

2.3. Dekodierzusatz für störsichere Fernschaltung

Die bisher beschriebenen Funkfernsteuerungen für Modellzwecke arbeiten zwar vielfach mit selektiver Kommandoübertragung (selektives Filter bzw. Tonschaltkreis im Empfänger), trotzdem sind sie keineswegs absolut störsicher. Kurzzeitige HF-Impulse fremder Herkunft können das Relais einer Tonkreisschaltstufe durchaus zu kurzzeitigem Anziehen bringen oder Relaisflattern bewirken: Wenn ein fremder Sender zufällig mit der Kommandofrequenz moduliert ist, kommt es sogar zu regulärer Auslösung des Schaltvorgangs im Empfänger. Für reine Modellsteueranwendung ist mit solchen Störungen kaum zu rechnen, bzw. gelegentliche Störimpulse bleiben ohne ernsthafte Auswirkung, da man, falls erforderlich, eine kurzzeitige Fehlsteuerung sofort korrigieren kann. Die Funkfernsteuerung wird jedoch auch da angewendet, wo es unter keinen Umständen zu Fehlschaltungen durch fremde Störimpulse kommen darf. Solche Anwendungen sind zwar vorwiegend in der Industrie gegeben; davon muß der Amateur aber auch Kenntnis haben, wenn seine Tätigkeit nicht bloß Befriedigung eines Hobbys sein soll. Abgesehen

davon, ergeben sich gelegentlich auch für den Amateur ernsthafte Einsatzzwecke für Funkfernschaltungen – etwa in seinem Arbeitsbereich, Betrieb, im Rahmen des Neuererwesens usw. Kommerzielle Anlagen arbeiten zwecks Störsicherheit mit teilweise sehr komplizierten Impulskodeverfahren (verschlüsselte Impulskombinationen je Steuerkommando) und sind für den Amateur zu aufwendig. Im folgenden wird daher eine amateurgerechte Schaltungslösung gezeigt, die bei verhältnismäßig geringem Aufwand die praktisch störsichere Auslösung eines Schaltvorgangs über Funk ermöglicht und gleichzeitig das Wesen der „echten" Kodeverfahren in seinen Grundzügen erkennen läßt. Dem Verfasser war bei der Entwicklung dieser Schaltung folgende Aufgabe gestellt, der die Schaltungslösung angepaßt wurde:

Zur Verfügung stand ein 3-Kanal-Sender *Junior 3* (Abschnitt 1.4.) und zugehöriger 3-Kanal-Empfänger (Abschnitt 2.2. und Bild 6). Zu übermitteln war ein Ein/Aus-Kommando, wofür alle 3 Kommandokanäle herangezogen werden konnten. Es war zu gewährleisten, daß HF-Impulse fremder Herkunft (auch bei absichtlicher Erzeugung, etwa mittels zweitem gleichartigem oder ähnlichem Sender) nicht zur Auslösung des Schaltvorgangs führten.

Außerdem war die Empfängerzusatzschaltung aus der Empfängerbatterie mitzuspeisen und sollte äußerst geringen Ruhestrom aufnehmen. Sender und Empfänger selbst hatten unverändert zu bleiben.

Die Aufgabe wurde mit der Schaltung nach Bild 7 gelöst.

Die Dekodierschaltung enthält 5 Transistoren und 1 Relais IV, das mit einem Kontakt rel IV_2 den Schaltbefehl ausführt.

Die Kontakte rel I, rel II und rel III (Bild 7) sind die entsprechenden Kontakte der 3 Tonkreis-Relais im Empfänger (Bild 6). Als Kode-Kommandos wurde die Signalfolge (entsprechend der Kanalbezifferung in Bild 6) II – III – I gewählt, und zwar im Rhythmus lang-kurz-lang. Dieses Kommando wird am Sender durch entsprechendes Nachein-

ander-Betätigen der Kommandotasten von Hand gegeben. Die 3 Signaltöne müssen unmittelbar aufeinanderfolgend gegeben werden, wobei der 2. Ton „III" nicht kürzer als 0,3 s und nicht länger als 0,6 s sein darf. Bei kürzerer oder längerer Kommandogabe dieses Tones reagiert der Dekodierzusatz nicht. Er reagiert ebenfalls nicht, wenn zwischen den Tönen mehr als 0,3 s Pause auftritt oder wenn die Reihenfolge der Töne II – III – I nicht stimmt bzw. zwischen dieser Folge eine andere Taste gedrückt wird. Das Drücken der letzten Kanaltaste I löst den Schaltvorgang aus. Die genannte Reihenfolge und Geschwindigkeit läßt sich von Hand bequem tasten. Sie entspricht der Kommandofrequenzfolge 2,5 kHz – 1,6 kHz – 2,0 kHz. Man geht also von der höchsten zur tiefsten und wieder zu einer höheren Frequenz. Damit ist gesichert, daß eine

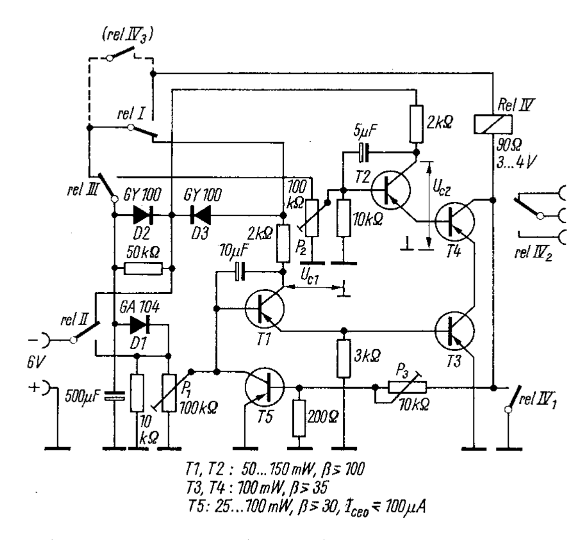


Bild 7 Dekodierzusatz für störsichere Funkfernschaltung.
rel I, rel II, rel III = Relaiskontakte der 3 Kanäle des Empfängers; Kommandosignale sind in der Kanalreihenfolge II – III – I zu geben

Stör-Auslösung auch nicht mit einem dauertonmodulierten Sender, dessen Frequenz im gesamten Bereich kontinuierlich durchgestimmt wird, erfolgen kann. Da der Dekodierzusatz auch dann nicht anspricht, wenn die in Frage kommenden Tonfrequenzen gleichzeitig auftreten (dies wäre bei einem mit Rauschen modulierten Sender denkbar), ist ein hoher Grad von Störsicherheit gegeben.

Etwaiges Relaisflattern im Empfänger bleibt demzufolge auch ohne störende Auswirkung.

Die Funktion der Schaltung nach Bild 7 sei am Ablauf der „vorschriftsmäßigen" Kommandofolge erklärt. Bei Beginn des ersten Kommandos zieht im Empfänger Relais II und betätigt rel II. T5 ist gesperrt, und über P1 erhält T1 Spannung. T1 wurde als Zeitverzögerungsstufe geschaltet (Miller-Integrator, Schaltung beschrieben in der 3. Auflage des *Großen Elektronikbastelbuchs.* Der zwischen Kollektor und Basis liegende Elko 10 μF bewirkt ein allmähliches Öffnen von T1. Dessen Emitterstrom öffnet gleichzeitig T3. Im Verlauf von 1 s – so lange muß Kommandoton II gesendet werden! – ist T3 dann so weit geöffnet, daß später Rel IV anziehen kann. Das geschieht jedoch erst, wenn T4 nicht mehr sperrt.

Sobald II ausfällt, schaltet rel II wieder ab. Da D1 jetzt sperrt, wird P1 stromlos. T1 beginnt zu schließen, und zwar wiederum verzögert, so daß T3 noch bis etwa 0,6 s nach Ausfall des Kommandos II geöffnet bleibt. Sofort auf II möge nun das in diesem Augenblick „falsche" Kommando I folgen (eventuell auch nur für einen kurzen Moment, etwa als Störimpuls). rel I zieht an und legt Rel IV an Betriebsspannung. Da T4 noch gesperrt ist, kann zwar Rel IV nicht ziehen, doch am Kollektor T4 tritt die volle Betriebsspanung auf. Sie steuert T5 nun über P3 an. T5 öffnet und schließt T1-Basis gegen Masse kurz, womit T1 und T3 sofort schließen und die zuvor erfolgte Kommandospeicherung des Kommandos II aufgehoben ist. Damit bleibt auch *eine jetzt „richtig" fortgesetzte Kommandofolge ohne Wirkung: Der Kode muß von vorn begonnen werden.*

Auf II folgt im Normalfall III, wobei rel III zieht und P2 an Betriebsspannung legt (über rel II, D2, P2). T2 ist ebenfalls als Integrator geschaltet und öffnet daher gleichfalls verzögert, jedoch schneller als T1, was man durch kleineren Elko und entsprechende Einstellung von P2 erreicht. Damit wird auch T4 geöffnet, während T3 noch nicht geschlossen hat.

Für etwa 0,6 s Zeitdauer überlappen sich Anstiegzeit von T2, T4 und Abfallzeit von T1, T3. In diesem Moment muß das dritte Kommando I kommen. Nachdem während 0,5 s Kommando III gegeben und damit T4 geöffnet wurde (gibt man III länger, so hat sich inzwischen T3 wieder geschlossen!), entfällt III, rel III schaltet rel I an Betriebsspannung, und wenn nun sofort Kommando I mit rel I folgt, findet Rel IV über rel II, rel III und rel I sowie über die in diesem Moment zugleich geöffneten T4, T3 seinen Stromkreis geschlossen und zieht an. Mit rel IV_1 legt sich Rel IV in Selbsthaltung, so daß die nachfolgende Sperrung von T3 und T4 keine Wirkung hat. Rel IV bleibt so lange gezogen, wie Kommando I besteht und kein Signal auf Kanal II oder III auftritt. Wenn das geschieht, so würde rel III den Stromkreis für Rel IV unterbrechen, rel II dagegen den Kollektorstromkreis für T2 abschalten (D2 sperrt dann!). Damit schließt T4 – in beiden Fällen fällt Rel IV ab.

Wenn Rel IV auch nach Ausfall von I angezogen, der Schaltbefehl also erhalten bleiben soll, dann kann bei rel 1 (gestrichelt angedeutet) ein Relaiskontakt rel IV_3 angeordnet werden, über den sich Rel IV in Selbsthaltung legt. Aufhebung des Schaltbefehls erfolgt dann durch Kommandogabe II oder III, was die im vorigen Absatz genannte Wirkung hat und Rel IV zum Abfall bringt.

Einige angenommene „Falschbefehle" mögen die Störsicherheit der Dekodierschaltung zeigen: Es wird exakt II – III gegeben, aber mit III zugleich soll nun I anziehen. T1, T3 sind vom ersten Kommando her noch geöffnet, über Rel III würde T2, T4 geöffnet, aber da rel I mit anzieht und die Öffnung über T2 verzögert erfolgt, geschieht zunächst nichts (rel I durch rel III abgetrennt).

Falls III vorzeitig abfällt, ist T4 noch nicht ausreichend geöffnet, wobei es über rel III, rel I, Rel IV, P3, T5 sofort zum Löschen von T1 kommt und auch T3 wieder sperrt. Zieht während des Ablaufs der Kommandos III – I rel II nochmals, dann sperrt wiederum D2, und T2 erhält keinen Kollektorstrom, wobei die Speicherung sofort aufgehoben wird. Bis sie von neuem erfolgt, ist T1 bereits wieder abgeklungen – der Kode muß also in jedem Fall von vorn begonnen werden, was jedoch nicht in der Reihenfolge III – II geschehen kann, weil T2 überhaupt erst dann speichert, wenn T1, T3 geöffnet sind und T2, T4 damit Masseverbindung geben. Richtige Reihenfolge, aber zu kurze Signalgabe bei II führt zu nicht ausreichender Öffnung von T3, womit bei III dann T2 nicht öffnen kann; zu lange Kommandogabe für III bewirkt, daß inzwischen T1 wieder abgeklungen ist; zu kurzes Kommando III öffnet zwar T2, aber T4 nicht ausreichend – usw. Tatsächlich *kann* Rel IV *nur anziehen, wenn* die 3 Kommandos in richtiger Reihenfolge, im richtigen Zeitmaß und ohne dazwischen auftretende zusätzliche Kommandos ablaufen. Andernfalls erfolgt überhaupt keine Zeitspeicherung, oder eine bereits eingeleitete Speicherung wird wieder gelöscht, so daß Fortsetzung eines einmal gestörten Kodes nicht möglich ist. Allerdings hat diese einfache Einrichtung gerade wegen ihrer Eigenschaften, auf Zusatzimpulse mit Löschung zu reagieren, den Nachteil, daß bei ständigen Störungen ein Auslösen auch mit dem vorschriftsmäßigen Kode nicht mehr gelingt: Fremde Störungen können also zwar keine Schaltung bewirken, aber eine beabsichtigte Schaltung verhindern. Dieser Nachteil stört jedoch bei zahlreichen Anwendungen keineswegs. Als Anwendungsbeispiel sei eine funkferngesteuerte Türöffnungsanlage genannt, die mit diesem Dekodierzusatz „einbruchsicher" wird, wenn Kode, Anzahl der Kommandobefehle und ihre *Signalfrequenzen* Außenstehenden unbekannt bleiben.

Die Einstellung der Trimmregler in der Schaltung nach Bild 7 erfolgt in der Weise, daß mit P1 eine Anprechzeit von 2 s für Kommandokanal II, mit P2 eine Ansprechzeit von

0,5 s für Kommandokanal III eingestellt wird. Als Kriterium dafür dienen die Spannungen U_C 1 und U_C 2. Beide betragen im Ruhezustand 6 V. Bei Kommando II muß U_C 1 in 1 s auf 1 V oder weniger abfallen, bei Ausbleiben von II dagegen binnen 4 bis 5 s wieder auf 6 V hochlaufen. U_C 2 sinkt bei Kommando III in etwa 0,5 s auf weniger als 1 V ab und läuft mit Ausfall von Kommando III innerhalb 4 s wieder auf 6 V hoch. Bei Kommando II beträgt U_C 2 etwa 4,5 bis 5 V. Diese Werte sind mit P1 und P2 zu erreichen. P3 ist später so einzustellen, daß die bei Kommando II auf knapp 1 V abgesunkene Spannung U_C 1, wenn auf Kommando II folgend sofort Kommando I gegeben wird, sofort wieder auf 6 V ansteigt.

Der Ruhestrom der Dekodierschaltung beträgt nur etwa 0,5 mA.

2.4. Relaiszusatzschaltungen

Durch geschickte Kombination von Relais kann man mit wenigen Kommandofrequenzen bzw. Übertragungskanälen eine größere Anzahl von Schaltbefehlen erreichen und dann z. B. mit einer 3-Kanal-Anlage weit mehr als 3 Schaltvorgänge auslösen. Es ist im Rahmen dieser Broschüre nicht möglich, auf die zahlreichen denkbaren und bekannten Lösungen im einzelnen einzugehen (ausführliche Angaben in [5]). Insbesondere sei auf die dort gezeigte Relaisschaltung für ein funkferngesteuertes Schiffsmodell verwiesen, bei der mit einer 3-Kanal-Anlage (3 Kommandotonfrequenzen) und mit 3 Relais die Befehle „Halt – Linkswendung vorwärts – Rechtswendung vorwärts – Geradeaus vorwärts – Rückwärts – schnelle Fahrt – langsame Fahrt – Einschalten der Schiffsbeleuchtung" gegeben werden können. Weitere Anwendungsbeispiele für Relaisschaltungen sind u. a. in [1] zu finden. Auch die in Teil I, Band 51 erläuterte „Trägerausfallkontrolle" für Proportionalsteuerungen gehört zu diesem Kapitel.

Stellvertretend für Relaisschaltungen wird die häufig benötigte Relais-Wiederholschaltung beschrieben. Bild 8 zeigt

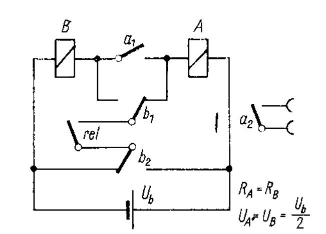


Bild 8
Relaiswiederholschaltung

ihre Funktion. 2 Relais mit gleichem Widerstand (jedes Relais muß bei der halben Betriebsspannung U_b anziehen!) sind in der gezeigten Weise verbunden. Kontakt rel löst die Wiederholschaltung aus (das kann z. B. der Relaiskontakt einer Tonkreisschaltstufe oder Kontakt rel IV_2 aus Schaltung Bild 7) sein. Sobald rel schließt, bekommt A Strom und zieht an. Kontakt a2 schließt ebenfalls und bewirkt den gewünschten Schaltvorgang, a1 folgt, was zunächst ohne Wirkung bleibt.

Sobald rel öffnet, liegt B über a1 in Serie mit A und zieht nun gleichfalls an. A bleibt gezogen, a2 geschlossen, b1, b2 bereiten den Ausschaltvorgang vor. Wenn nun rel zum zweiten Mal schließt, wird A kurzgeschlossen und fällt ab. a2 öffnet und beendet den gewünschten Schaltvorgang. B bleibt zunächst über b1, rel, b2 gezogen und fällt erst mit Öffnen von rel ab.

Danach herrscht wieder der Anfangszustand. Man kann mit dieser Schaltung durch einen kurzen Schaltvorgang (rel) einen bleibenden Schaltzustand (a2) erreichen und durch erneuten kurzen Schaltvorgang mit rel diesen mit a2 erreichten Zustand wieder beenden. Soll mit einer Funkfernsteuerung ein Antrieb o. ä. über längere Zeit eingeschaltet sein, so muß der Sender durchaus nicht für die gesamte Arbeitszeit des Antriebs in Betrieb sein. Die Wiederholschaltung ermöglicht in solchen Fällen, lediglich Anfang und Ende dieser Betriebsphase mit einem kurzen Funkkommando auszulösen.

2.5. Die Auswertung eines Proportionalimpulskommandos ohne Flatterrelais

Die inzwischen mehrfach beschriebene Proportionalimpulssteuerung benötigte bisher empfängerseitig stets ein Flatterrelais (vgl. Teil I). Dieses Relais muß mit relativ hoher Frequenz (20 Hz) ständig arbeiten und dabei das Tastverhältnis sehr genau einhalten. Dafür eignen sich nur wenige Relaisausführungen, die z. T. für Modellzwecke zu groß und schwer sind (z. B. polarisierte Telegrafenrelais). Außerdem ist das Relais einem relativ starken Verschleiß unterworfen – das Flatterrelais bildet die kritische Stelle der Proportionalsteuerung. In solchem Fall kann die Schaltung nach Bild 9 einen Ausweg bieten, die eine direkte, kontaktlose Ansteuerung des Motors ermöglicht; das Flatterrelais entfällt also. Da man dann nicht mehr auf die mechanische Trägheit des Relaisankers Rücksicht nehmen muß, kann die Impulsfrequenz bedarfsweise nun auch erhöht werden (bis zu einigen hundert Hertz oder mehr, je nach Motoreigenschaften), was die Übertragung des Proportionalkommandos erheblich vereinfacht. So ist z. B. auch die Verwendung eines Trägertons für den 20-Hz-Impuls nicht erforderlich, wenn die Impulsfrequenz selbst zwischen 500 und 700 Hz festgelegt wird. Damit vereinfacht sich der Kommandogeber, und ein spezieller Kommandoauswerter für das Impulsverfahren zum Aussieben des Trägertons erübrigt sich.

T1 und T2 in Schaltung nach Bild 9 sind Vorverstärkerstufen, um eine Ansteuerung vom NF-Ausgang eines normalen Empfängers zu ermöglichen. Damit T1···T5 voll durchgesteuert werden, ist am Eingang E das Impulssignal mit etwa 1 V Amplitude erforderlich. Alle Transistoren arbeiten als Schalter. Die negative Impulshalbwelle am Eingang E öffnet T1, T2 und T4. Über D1 liegt damit Motor M an der unteren Batterie B2. Da T4 durchgesteuert ist, steht an der Basis T3 keine Spannung, T3 und T5 sind in dieser Halbwelle gesperrt. Anders bei der positiven Impulshalbwelle: T1, T2 und T4 sperren jetzt, so daß T3 über seinen 200-Ω-Basiswiderstand angesteuert wird: D1

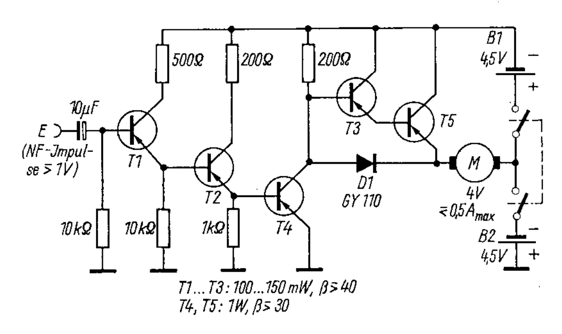


Bild 9 Schaltung der relaislosen Auswertung für ein Proportionalimpulskommando. Diese kontaktlose Schaltung erübrigt die Verwendung eines Flatterrelais

sperrt. T3 und T5 sind geöffnet und legen den Motor, nunmehr mit umgekehrter Polarität, an die obere Batterie B1. Die Wirkungsweise entspricht somit genau der Wirkung eines Flatterrelais-Umschaltkontakts. Der Motor soll im gebremsten Zustand nicht mehr als 0,5 A Strom aufnehmen (entspricht den üblichen kleinen Modellmotoren). Andernfalls müssen T4 und T5 stärkere Transistoren (4-W-Typen) sein und T1···T3 höheren β-Wert haben, als angegeben, damit noch eine ausreichende Durchsteuerung der Leistungstransistoren erreicht wird. Für T2 und T3 empfehlen sich dann ebenfalls stärker belastbare Typen (*GC 300* für 0,4 W oder übliche 1-W-Typen).

Eine Signalausfallkontrolle kann mit Relais erfolgen, wenn man das Ausfallrelais an Stelle eines der Kollektorwiderstände von T1 oder T2 (Relais soll dem Wert des Kollektorwiderstands entsprechen) einsetzt. Damit es nicht flattert, wird ihm ein Elko von ≈ 50 µF parallelgeschaltet. Das bei Signalausfall abfallende Relais kann den Motor 1polig abschalten, da dieser bei fehlendem Signal ständig an B1 angeschaltet bleibt und in der entsprechenden Drehrichtung mit Höchstdrehzahl anlaufen würde. Dies entspricht ebenfalls der Situation, wie sie auch bei Verwendung des herkömmlichen Flatterrelais bei fehlendem Signal auftritt.

3. Induktionsschleifensteuerung für Fahrmodelle

Auf die Möglichkeiten und die prinzipielle Wirkungsweise der Magnetfeldsteuerung mit Induktionsschleife wurde bereits in Teil I eingegangen. Dieses relativ einfache und triebssichere Verfahren eignet sich insbesondere vorzüglich für Heimzwecke und Ausstellungen. Im folgenden wird deshalb eine vollständige Anlage für ein Bodenfahrmodell beschrieben, für die man ein handelsübliches Raupenfahrwerk mit 2 Motoren (*Omega*-Fahrwerk bzw. ähnliche Ausführungen der Spielwarenindustrie) verwendet und nach dem Prinzip der Proportionalsteuerung arbeitet. Bei der empfängerseitigen Schaltung wird die vorangehend beschriebene kontaktlose Kommandoauswertung ohne Flatterrelais eingesetzt.

Auf das Fahrwerk braucht nicht näher eingegangen zu werden, da dieses in der handelsüblichen, allgemein bekannten Ausführung unverändert benutzt wird.

Selbstverständlich können Sender und Empfänger dieser Anlage sinngemäß auch für andere Kommandoverfahren (etwa Mehrkanalverfahren mit Tonkreisschaltstufen) Verwendung finden. Empfängerseitig ist z. B. ein Ersatz der Proportionalimpuls-Auswerteschaltung durch eine oder mehrere Tonkreisschaltstufen, wie in Abschnitt 2.2. erläutert, ohne weiteres möglich.

3.1. Der Magnetfeldsender

Bild 10 zeigt die Schaltung des sehr einfach aufgebauten Proportionalkommandogebers und Magnetfeldsenders. Der Proportionalgeber mit T1, T2 und dem Geberegler (Fahrtregler) P1 ist aus den in Teil I gezeigten Schaltungen bereits bekannt.

Ein Unterschied besteht lediglich darin, daß der Impulsgeber durch kleinere Kondensatoren für eine Frequenz bei

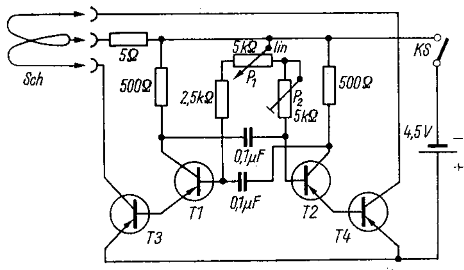


Bild 10 Kommandogeber und Schleifensender für die Magnetfeldsteuerung eines Fahrmodells

etwa 700 Hz dimensioniert ist. Diese hohe Proportionalimpulsfrequenz erübrigt die Verwendung eines Trägertons, sie wird ermöglicht durch den Fortfall des Flatterrelais im Empfänger.

Die Impulsgebertransistoren steuern mit ihren Emitterströmen die Leistungstransistoren T3 und T4 an, in deren Kollektorkreis die Sendeschleife Sch liegt. KS ist der Kommandoschalter für das zusätzlich vorgesehene Ein/Aus-Kommando. Als Batterie genügt für kürzere Fahrzeiten eine Taschenlampenbatterie oder eine Serienschaltung von 3 Monozellen.

Bei normalen Raumgrößen (bis etwa 30 m²) genügen für die Sendeschleife Sch bereits 4 Wdg. mit Mittelanzapfung. Man nimmt das übliche 2adrige, kunststoffisolierte Leitungsmaterial doppelt und verlegt es einmal rund um den Raum. Die Schleife erhält durch entsprechende Serienschaltung der 4 Adern die benötigte Mittelanzapfung. Für größere Räume kann man die Windungszahl auf 6 bis 8 erhöhen. Wenn der Ohmsche Widerstand der Schleife je Hälfte (ab Mittelanzapfung) mindestens 5 Ω beträgt, was von Leitungsquerschnitt und Länge abhängt, kann auf den 5-Ω-Widerstand vor der Mittelanzapfung verzichtet werden. Innerhalb der Schleife Sch bewegt sich das Fahrmodell.

3.2. Der Magnetfeldempfänger

Das von der Sendeschleife erzeugte Magnetfeld wird von der Fangspule F des Empfängers aufgenommen, dessen Gesamtschaltung Bild 11 zeigt (Einzelheiten zur Ausbildung der Fangspule in Teil I). Die Spule soll einen offenen Eisenkern (Stabkern) haben und erhält etwa 1000 Wdg. Die genaue Windungszahl ist unkritisch. Man kann eventuell einen *Sternchen*-Treibertrafo K20 oder einen ähnlichen Kleinübertrager gleich mit dessen Originalwicklung verwenden, wenn der Übertragerkern entfernt und durch einen stabförmigen Kern ersetzt wird, der beidseits wenigstens einige Millimeter über die Spulenkante vorsteht. Durch entsprechendes Schneiden der Originalbleche gewinnt man das Material für den Stabkern. Der Kern soll im Empfänger ungefähr senkrecht stehen (Winkelabweichungen $\pm$ 45° sind noch zulässig); wichtig ist jedoch größtmöglicher Abstand der Fangspule von Motoren und Relais sowie, falls erforderlich, Ausrichtung der Spule mit ihrem Empfangsminimum auf das vom eigenen Antrieb erzeugte magnetische Störfeld. Dazu muß im allgemeinen der Kern annähernd zu den störenden Objekten (Motoren) hin zeigen.

P1 gestattet das Einstellen der Empfängerempfindlichkeit derart, daß der Empfänger überall innerhalb der Senderschleife sicher reagiert, andererseits aber die Empfindlichkeit nicht so groß wird, daß sich Störungen durch Netzbrummen (elektrische Installationen!) oder vom eigenen Antrieb her auswirken können. An dieser Stelle sei erwähnt, daß die Verwendung eines selektiven Empfängers (etwa mit auf die Senderfrequenz abgestimmter Fangspule F) bei der Proportionalimpulssteuerung nicht möglich ist!

Bei richtiger Einstellung von P1 arbeiten T1, T2 als NF-Verstärker, T3 als Begrenzer, womit die Ansteuerung der Auswerteschaltung (ab T4) unabhängig von der Stellung des Modells im Schleifenbereich wird. D 1 läßt an T4 nur negative Impulshalbwellen zur Auswirkung kommen. Dies

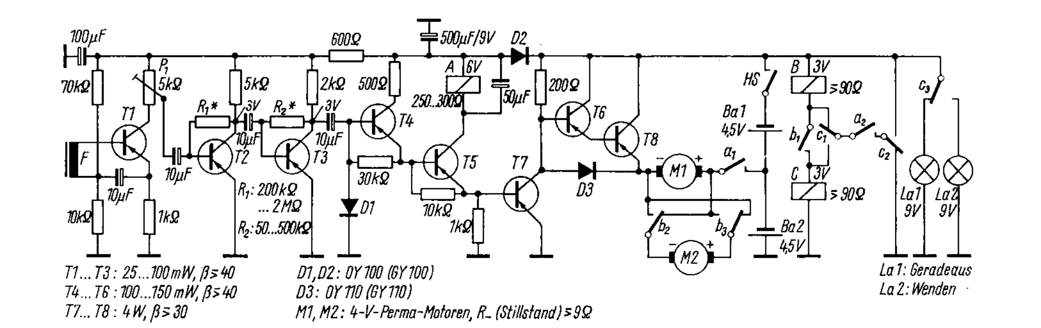


Bild 11 Gesamtschaltung für den Empfänger und Antrieb des magnetfeldgesteuerten Fahrmodells

entspricht der in der Impulstechnik als *Klemmschaltung* oder *Klammerung* bekannten Funktion: Der Steuerimpuls wird mit seinem positiven Potential mittels D1 auf Massepotential „geklemmt". Im Kollektorkreis von T5 liegt das Signalausfallrelais A. Es ist ständig angezogen, solange der Sender arbeitet, und fällt ab mit Ausbleiben des Proportionalkommandos. Im übrigen entspricht die Auswerteschaltung der in Abschnitt 2.5. (Bild 9) behandelten. Kontakt a1 im Motorstromkreis setzt bei Ausbleiben des Signals beide Motoren still, so daß das Modell stehenbleibt, wenn im Sender (Bild 10) Schalter KS geöffnet wird oder die Übertragung abreißt. Wegen a1 genügt für den Hauptschalter HS im Empfänger eine 1polige Ausführung.

Das benutzte Raupenfahrwerk hat 2 Motoren M1 und M2 für die beiden Raupen. Das ermöglicht, zusammen mit Relais A und der Wiederholschaltung (Relais B und C, vgl. dazu Abschnitt 2.4. und Bild 8), eine einfache und elegante Lösung für die Lenkung des Modells. Dafür benutzt man im Sender Kommandoschalter KS.

Die Wiederholschaltung wird durch Kontakt a2 betätigt. Sobald im Sender KS geschlossen ist, erhält der Empfänger das Proportionalimpulssignal. Relais A zieht an und über a2 zugleich auch B, wobei Motor M2 über b2, b3 umgepolt wird. M1 und M2 laufen daher in gleichem Drehsinn an. Mit dem Kommandogeber P1 im Sender (Bild 10) kann man nun das Fahrmodell von Stillstand (P1 in Mittelstellung) bis zur Höchstgeschwindigkeit in beiden Fahrtrichtungen kontinuierlich steuern. Da M1, M2 stets gleiche Spannung haben, ist nur Geradeausfahrt vor oder zurück möglich. Zum Richtungswechsel wird im Sender KS kurz aus- und gleich wieder eingeschaltet. Dabei fällt im Empfänger A ab, a2 öffnet, und über b1 zieht nun C an. Sobald mit wiederkehrendem Kommando A wieder zieht, wird über a2 B kurzgeschlossen (c1, c2 haben zuvor umgeschaltet!) und fällt ab. Über b2, b3 wird dabei M2 umgepolt, so daß nun beide Motoren gegensinnig laufen. Das Modell dreht sich damit auf der Stelle, und zwar je nach

Drehsinn des Kommandogebereglers nach rechts oder links. Man kann auf diese Weise das Modell je nach Fahrmanöver schnell oder allmählich und sehr genau in die neue Fahrtrichtung bringen. Danach wird im Sender wiederum KS kurz aus- und eingeschaltet, wobei im Empfänger die Wiederholschaltung mit B, C in der beschriebenen Weise M2 wieder auf gleichsinnige Drehrichtung umpolt, so daß nun das Modell weiterfährt. Mit c3 kann man 2 am Modell gut erkennbare Lampensignale umschalten (La1, La2). Da C stets mit ausbleibendem Impulskommando anzieht (beim Öffnen von KS im Sender), zeigt die Lampensignalisierung im voraus an, welche Betriebweise (Geradeausfahrt oder Wendemanöver) bei Wiedereinschalten des Senders zu erwarten ist. Wenn KS im Sender als kleiner, leichtgängiger, mit der Fingerkuppe bedienbarer Schalter oder als Drucktaste angeordnet wird, benötigt das Umschalten nur wenige Zehntelsekunden, so daß eine zügige Fahrweise des Modells ohne erkennbaren Halt möglich ist.

Die Proportionalsteuerung erlaubt dabei ein millimetergenaues Manövrieren. Der einzige Nachteil dieses Steuerungsverfahrens besteht in einem verhältnismäßig hohen Stromverbrauch des Modells (wie er bei allen Proportionalsteuerungen auftritt), da beide Motoren, solange KS im Sender geschlossen ist, ständig den maximalen Betriebsstrom aufnehmen (auch im Stillstand!). Für Ba1 und Ba2 sollen daher kräftige Batterieformen benutzt werden (günstig sind Kleinakkus). Falls über die Speiseleitung Motorstörungen in den Empfänger gelangen, kann der Empfänger eine eigene kleine Batterie (9 V) erhalten. Diese versorgt nur T1 · · · T3 und wird an der gemeinsamen Minusleitung von T1 · · · T3 angeschlossen, wobei der 600-Ω-Widerstand entfällt. HS muß dann eine 2polige Ausführung sein und diese Empfängerbatterie mit abschalten.

Die beschriebene Proportionalsteuerung ist selbstverständlich auch für Funkfernsteuerungen zu verwenden. Ein entsprechender Sender wurde in Abschnitt 1.3. bereits gezeigt; als Empfänger eignet sich ein Pendelaudion mit Begrenzerstufe, z. B. nach Bild 6 (dort T1 bis T3). In der

Schaltung Bild 11 entfallen dann T1 und T2, die dritte Stufe T3 ist mit ihrem Basiselko 10 μF am Kollektor der Begrenzerstufe T3 (Bild 6) anzuschließen. Eventuell kann man zur Empfindlichkeitseinstellung dann den Kollektorwiderstand von T3 (Bild 11) als Potentiometer (2,5 kΩ) ausbilden. Der Koppelelko 10 μF zwischen T3 und T4 wird an dessen Schleifer angeschlossen.

4. Hinweise für Rudermaschinen

Im Vorwort zum vorliegenden Band wurde bereits gesagt, weshalb keine detaillierten Bauvorschriften für Rudermaschinen beschrieben werden. Da die Rudermaschine kein elektrisches, sondern vorwiegend ein mechanisches Problem ist und ihre Anschaltung an die angegebenen Empfängerausgänge keiner besonderen Erläuterung bedarf (sie ergibt sich zwangsläufig aus der Konstruktion der jeweiligen Rudermaschine), sei nachfolgend nur einige für diese Problematik typische und instruktive Literatur empfohlen. Die Rudermaschine hat die Aufgabe, am Modell (vorwiegend beim Flug- oder Schiffsmodell) die Ruderflächen zu bewegen. Sie enthält zu diesem Zweck meist 1 oder 2 Elektromotoren, die durch die Relaiskontakte des Fernsteuerempfängers betätigt werden. Im allgemeinen haben Rudermaschinen zusätzlich eine elektrisch oder auch mechanisch durchführbare „Neutralisation", die bei ausbleibendem Kommando das Ruder in Mittellage bringt. Bei Schiffsantrieben mit 2 Schrauben oder Bodenfahrmodellen mit 2 Motoren lenkt man das Modell durch getrennte Steuerung beider Antriebe, so daß dann eine besondere Rudermaschine entfällt.

Eine solche Lösung ist (wenn von Aufbau und Funktion des Modells her möglich) der Verwendung einer Rudermaschine vorzuziehen. Die Domäne der Rudermaschine bildet deshalb im wesentlichen das Flugmodell. Doch auch auf diesem Gebiet sind motorlose Rudermaschinen möglich (Magnetbetätigung für die Ruder, insbesondere bei der Proportionalsteuerung); Beschreibungen von Rudermaschinen sind zu finden in [1], [4], [6] und [7].

Die bereits in Teil I beschriebene Rudermaschine *Servomatic* ist in 4 verschiedenen Varianten im Handel erhältlich; auch zu der *Junior*-3-Fernsteuerung wurde eine Rudermaschine *MR-64/1* gefertigt (siehe Fotos in diesem Heft).

5. Leitstrahlgelenkte Fahrmodelle

Das Verfahren der Leitstrahllenkung hat seinen Ursprung in der Militärtechnik (Raketenlenkung). Für den Amateurgebrauch kann man unter diesen Dachbegriff außer den eigentlichen Leitstrahlverfahren auch die *selbstzielsuchenden* Modelle einordnen, die die Grundform der *kybernetischen* Fahrmodelle bilden.

Für den Amateur kommen in beiden Fällen vorwiegend Verfahren auf optischer Basis in Betracht, da nur sie mit einem amateurmäßig tragbaren Aufwand realisiert sind. Das Lenk-„Signal" ist in diesen Fällen ein Lichtstrahl. Ein selbstzielsuchendes Modell läuft selbsttätig auf eine Lichtquelle zu bzw. folgt dieser Lichtquelle. Man kann es also z. B. mit einer in der Hand gehaltenen Lampe „hinter sich herlocken". Bei der echten Leitstrahllenkung läuft dagegen das Fahrmodell stets innerhalb eines Lichtstrahls – im allgemeinen von der Lichtquelle weg – und ist dabei bestrebt, stets im Lichtstrahl zu bleiben. Wird der Lichtstrahl, der in diesem Fall gebündelt sein muß und von einem kleinen „Lenkscheinwerfer" ausgeht, seitlich geschwenkt, so führt das Modell ebenfalls Schwenkungen aus. Es kann daher durch Schwenken des Lenkscheinwerfers und dessen Ausrichtung auf einen bestimmten Zielpunkt an diesen herangeführt werden.

5.1. Selbstzielsuchendes Fahrmodell

Ein selbstzielsuchendes Fahrmodell, das auf eine Lichtquelle zufährt, wurde in [1] beschrieben. Bild 12 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines dafür geeigneten Fahrwerks. Man benutzt ein für Spielzeugzwecke handelsübliches 2motoriges Raupenfahrzeug. Auf seinem Rücken sollte eine möglichst über die ganze Fahrzeuglänge vorgezogene Trennwand vorhanden sein, die nach hinten durch eine

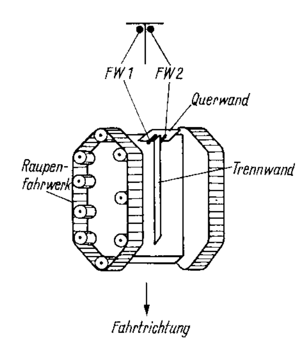


Bild 12
Prinzipieller Aufbau des Fahrwerks für ein selbstzielsuchendes Bodenfahrmodell

Querwand abgeschlossen wird. In den auf diese Weise entstandenen Ecken ordnet man 2 Fotowiderstände FW1, FW2 an. Jeder FW hat dadurch einen „Blickwinkel" von genau voraus bis etwa 90° seitwärts. Ein seitlich ankommendes Licht wird daher nur einen FW treffen. Lediglich ein genau von vorn kommender Lichtstrahl trifft beide FW zugleich. FW1 und FW2 steuern je einen Antriebsmotor so, daß dieser anläuft, sobald auf FW Licht ausreichender Stärke fällt. Motor und FW wirken dabei „über Kreuz" zusammen, d. h., der rechts angeordnete FW schaltet den linken Raupenantrieb ein, der linke FW den rechten Antrieb. Dadurch wird erreicht, daß das Modell sich stets nach der Seite wendet, von der Licht kommt. Ist die Wendung so weit vollzogen, daß das Licht genau von vorn auf das Modell trifft, so erhält auch der andere FW Licht, die zweite Raupe läuft an, und das Modell bewegt sich geradlinig vorwärts und auf die Lichtquelle zu. Kommt das Fahrzeug dabei außer Kurs oder wandert die Lichtquelle, so wird einer der FW durch die Trennwand abgeschattet und setzt die ihm zugeordnete Raupe still. Dadurch wendet das Modell zwangsläufig so weit, bis wieder beide FW vom Licht getroffen werden, dieses also wieder genau von vorn kommt.

Bild 13 zeigt die Schaltung für einen Raupenantrieb. Sie ist in dem Modell zweimal in gleicher Form vorhanden, wo-

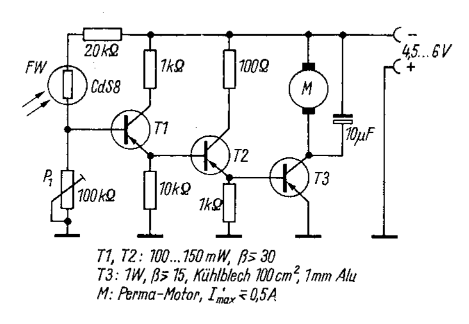


Bild 13 Antriebsteuerung für eine Antriebseite (eine Fahrraupe) des selbstzielsuchenden Fahrmodells. Die Schaltung ist im Modell zweifach vorhanden

bei FW in Bild 13, FW1, FW2 in Bild 12, Motor M in Bild 13 den beiden Antriebsmotoren entspricht. Mit P1 erfolgt Einstellung auf geeignete Lichtempfindlichkeit. Je stärker störendes Umgebungslicht ist, desto geringer muß P1 sein. In halbdunklen oder ganz verdunkelten Räumen kann die Empfindlichkeit so hoch getrieben werden, daß es möglich ist, das Modell mit einer gutbündelnden Taschenlampe noch aus 10 bis 15 m Entfernung zu „locken". Wenn fremde Lichtquellen vorhanden sind, läuft das Modell naturgemäß bei zu hoch eingestellter Empfindlichkeit auf diese zu. Dagegen kann durch geeignete Abdeckung beider FW (Bild 12) – besonders nach oben hin; die Anordnung ist nur schematisch skizziert! – in gewissen Grenzen Vorsorge getroffen werden. Nach den Seiten hin sollte man jedoch für jeden FW einen „Blickwinkel" von wenigstens 30° nicht unterschreiten. Die Schaltungsfunktion der Steuerschaltung in Bild 13 ist so einfach, daß sie keiner besonderen Erklärung bedarf. Man sollte jedoch beachten, daß T3 „gleitend", d. h. in Nähe der Ansprechhelligkeitsschwelle unter Umständen nur unvollständig durchgesteuert wird und dann nicht als Schalter arbeitet. Deshalb muß der Kühlung von T3 Aufmerksamkeit geschenkt werden. Eine andere Lösung ergibt sich, wenn man auf T3 verzichtet und den Kollektorwiderstand von T2 durch ein Relais

(Mindestwert 100 Ω) ersetzt. Emitter T2 kommt an Masse, der Emitterwiderstand entfällt. Ein Kontakt des anziehenden Relais schaltet dann den Motor ein. Diese Lösung ermöglicht getrennte Batterien für Lichtempfänger und Motor (hier jedoch nicht notwendig); preislich ist die Verwendung von T3 vorteilhafter als ein Relais.

5.2. Fahrmodell mit optischer Leitstrahllenkung

Eine „echte" Leitstrahllenkung ermöglicht das im folgenden beschriebene Modell, das insofern außer für Spielzwecke auch gut als Demonstrationsmodell für die Funktion beispielsweise einer Raketenleitstrahllenkung geeignet ist. Der bei Raketen benutzte Funkstrahl (der sehr exakt gebündelt sein muß, was dem Amateur allenfalls auf der UHF-Fernsteuerfrequenz 461,04 MHz mit sehr erheblichem technischem Aufwand möglich wäre!) wird durch einen Lichtstrahl ersetzt. Bild 14 zeigt das Prinzip.
Der Lenkscheinwerfer besteht aus 2 unmittelbar aneinandergesetzten, sehr gut bündelnden Hohlspiegel-Scheinwerfern La1, La2. Geeignet dafür sind Taschenlampen-Hohlspiegel mit wenigstens 50 mm Durchmesser und einstellbarer Fokussierung. Voraussetzung ist die Verwendung ausgesuchter Glühlampen mit genau zentrisch sitzendem

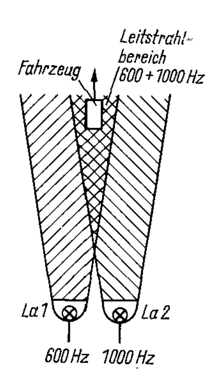


Bild 14
Zum Prinzip der optischen Leitstrahllenkung. Scheinwerfer La1 und La2 werden starr miteinander gekoppelt und gemeinsam als Lenkscheinwerfer geschwenkt

Glühfaden. Bei nicht exakt im Brennpunkt sitzendem Glühfaden „schielt" der Scheinwerfer und bündelt nicht einwandfrei. Es kommt darauf an, mit jedem Scheinwerfer einen möglichst runden Lichtfleck zu erreichen, der in etwa 10 m Entfernung 50 bis 70 cm Durchmesser haben soll. Je besser die Bündelung, desto größere Reichweite und desto exaktere Lenkung ergeben sich.

Wie Bild 14 erkennen läßt, überlappen sich beide Lichtkegel ein wenig. Dies wird durch geeignete Justierung beider Scheinwerfer erreicht: Die beiden Scheinwerfer bilden dann eine gemeinsam schwenkbare Einheit – den Lenkscheinwerfer.

Beide Lichtstreifen werden mit einer NF-Schwingung moduliert.

Einzelheiten über die Lichtmodulation sind in [1] und in Teil I zu finden. La1 wird mit etwa 600 Hz, La2 mit etwa 1 kHz moduliert (die Frequenzen dürfen zueinander nicht im ganzzahligen Verhältnis stehen!). Das Fahrmodell hat einen Lichtempfänger für moduliertes Licht und 2 Tonkreisschaltstufen für die beiden Modulationsfrequenzen. Befindet es sich im Überlappungsbereich beider Lichtkegel, so empfängt es beide Töne. Weicht das Modell nach links ab, so kommt es außer Bereich des Lichtkegels von La2 und „hört" dann nur noch den 600-Hz-Ton. Bei Seitenabweichung nach rechts „hört" das Modell nur 1 kHz. Das Modell reagiert darauf so, daß das allein vorhandene 1-kHz-Signal zu einer Linkswendung, das 600-Hz-Signal zu einer Rechtswendung führt; Vorhandensein beider Töne ergibt Geradeausfahrt. Damit steuert sich das Modell stets auf den Überlappungsbereich beider Lichtkegel ein; dieser Bereich ist der „Leitstrahl". Wird der Lenkscheinwerfer nach rechts oder links geschwenkt, so kommt das Modell, wie beschrieben, außer Leitstrahl, „hört" nur einen der beiden Töne und läuft daher dem Leitstrahl nach. Das kurz vor dem Lenkscheinwerfer von diesem weg in Marsch gesetzte Modell kann daher durch Schwenken des Scheinwerfers an einen beliebigen, mit dem Scheinwerfer angeleuchteten Punkt herangeführt werden. Bei Ausfall

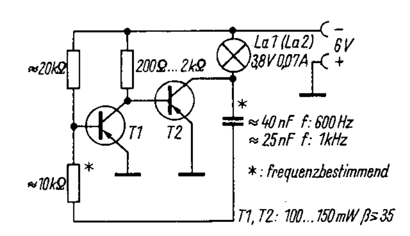


Bild 15 Lichtmodulator für einen Leitstrahlscheinwerfer. Die Schaltung ist für jeden der beiden Scheinwerfer in Bild 14 gesondert vorhanden

des Scheinwerferlichts bleibt es stehen; der vorhandene Leitstrahl „weist dem Modell die Marschrichtung".
Bild 15 zeigt die Modulationsschaltung für einen Scheinwerfer. Diese Schaltung ist zweimal vorhanden (für La1 und La2), beide Modulatoren können direkt mit ihren Scheinwerfern zusammengebaut werden und sind stets gleichzeitig in Betrieb. Es handelt sich bei dieser Schaltung um einen Multivibrator, der in [1] eingehend beschrieben wurde. Er erzeugt eine kräftige Helligkeitsmodulation der Lampe La, die selbstverständlich wegen der hohen Frequenz nicht sichtbar ist – das Auge sieht Dauerlicht!
Die Betriebsspannung beträgt 6 V; als Lampentyp eignet sich nur die Ausführung 3,8 V/0,07 A, die normale bis kräftige Helligkeit zeigt. Stärkere Lampen sind, abgesehen von der Transistorbelastung, wegen ihrer zu großen thermischen Trägheit nicht verwendbar. Immerhin ermöglicht diese Lampe Lenkreichweiten von 12 bis 20 m, mit gutbündelnden Scheinwerfern und in abgedunkelten Räumen erheblich mehr.
Alle Widerstandswerte in Bild 15 sind abhängig von den Exemplardaten der Transistoren und aus diesem Grunde nur als Richtwerte angegeben. Der Kondensator bestimmt die Modulationsfrequenz und ist daher in beiden Modulatoren verschieden groß. Der mit etwa 10 kΩ angegebene Widerstand hat Einfluß auf die Frequenz. Wird er als Trimmregler ausgebildet, so ist Frequenzabgleich in ge-

wissen Grenzen möglich, was unter Umständen die Verwendung festabgestimmter Tonschaltkreise im Empfänger ermöglicht.

Bei der Ersterprobung der Modulatorschaltungen kann man feststellen, ob der Multivibrator schwingt, indem ein hochohmiger Kopfhörer oder ein Kleinlautsprecher mit Übertrager (z. B. K 21) parallel zu La gelegt wird. Die Modulationsfrequenz muß dann hörbar sein. Schwingt die Schaltung nicht, wobei La entweder erloschen ist oder auffällig hell leuchtet, sind die Widerstandswerte nach Versuch abzuändern.

Bild 16 zeigt die Schaltung des im Modell vorhandenen Empfängers. Benutzt wird wiederum ein 2motoriges Raupenfahrwerk, ähnlich Bild 12, das aber jetzt keine Trennwände benötigt. Als Lichtempfänger ist wegen der erforderlichen geringen Trägheit nur ein Fototransistor oder eine Fotodiode brauchbar (Fotodioden werden vom VEB *Werk für Fernseheelektronik*, Berlin gefertigt), andere Arten

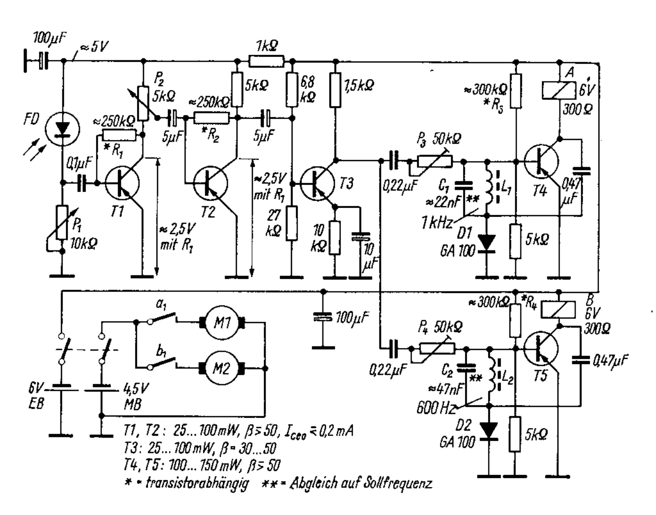


Bild 16 Empfängerschaltung für das leitstrahlgelenkte Fahrmodell

von Lichtempfängern eignen sich nicht. Das Leitstrahlfahrzeug erhält nur *eine* Fotodiode, die an der Rückseite des Fahrzeugs mit „Blickrichtung" nach hinten angeordnet wird. Fotodiode FD erzeugt an P1 eine NF-Spannung, entsprechend den Sender-Modulationsfrequenzen. Mit P1 erfolgt einmalig Abgleich auf die (durchschnittliche) Helligkeit bei FD. Diese Einstellung ist verhältnismäßig unkritisch und hängt auch von der Stärke des vorhandenen Nebenlichts ab. Man beginnt für P1 mit dem höchsten Wert und verringert diesen Widerstand nur so weit, daß in Sendernähe (am Startpunkt des Fahrzeugs) der Empfänger gerade sicher anspricht.

T1 und T2 sorgen für Nachverstärkung der an P1 abgenommenen NF-Spannung, wobei P2 die einmalige Einstellung der Empfängerempfindlichkeit gestattet. Man stellt P2 so ein, daß sich möglichst große Reichweite ergibt, aber in Sendernähe noch keine Übersteuerung von T2 erfolgt (erkennbar am Ansprechen beider Relais, auch wenn nur 1 Scheinwerfer in Betrieb ist).

T3 wirkt als Begrenzerstufe und gewährleistet gleichmäßiges Ansprechen beider Tonschaltkreise auch bei der später ständig abnehmenden „Empfangslichtstärke". Von hier ab entspricht diese Schaltung funktionell der in Bild 6 gezeigten; sie braucht daher hier nicht nochmals beschrieben zu werden. P3 und P4 gestatten Grobabgleich der Empfindlichkeit für beide Tonkreise und sind relativ unkritisch. R3 und R4 werden so bemessen, daß der Kollektorstrom von T4 bzw. T5 im Ruhezustand höchstens 0,5 mA beträgt. R1 und R2 sind so zu wählen, daß sich die für T1 und T2 angegebenen Kollektorspannungen etwa einstellen.

C1, L1 werden auf 1 kHz abgeglichen, C2, L2 auf 600 Hz. Die Resonanzfrequenzen dieser beiden Kreise müssen genau mit den Modulationsfrequenzen des Lenkscheinwerfers übereinstimmen. Da sich die Frequenzen in diesem abgleichen lassen, kann man gegebenenfalls nichtabstimmbare Festkreise für L1, L2 verwenden. Geeignet ist dann als L1 bzw. L2 je ein Transistortreiberübertrager Typ K20,

der mit seiner Sekundärwicklung (Drähte Grün-Grün) angeschlossen wird. Die Drähte Schwarz, Rot und Weiß bleiben unbenutzt. Mit C1, C2 setzt man die Resonanzfrequenzen grob fest, wobei die Angaben 22 nF bzw. 47 nF nur als grobe Richtwerte verstanden werden dürfen (C- und L-Toleranzen können erhebliche Abweichungen ergeben!). Andernfalls kann Auslegung und Abgleich der Tonschaltkreise nach dem in Abschnitt 1.4. Gesagten sinngemäß erfolgen. Das in [2] Gesagte gilt hier ebenfalls.

Bei Vorhandensein des mit 1 kHz modulierten Lichtes auf FD zieht demgemäß Relais A an, bei vorhandenem 600-Hz-Licht dagegen B, und solange sich das Modell im Leitstrahl befindet, ziehen beide Relais. Jedes Relais schaltet einen Raupenantrieb (A mit a1 den Motor M1, für die andere Frequenz B, b1, M2). Die Motoren sind, ähnlich, wie schon in 5.1. beschrieben, den Relais so zugeordnet, daß bei Abweichung aus dem Leitstrahlbereich stets der Motor stillgesetzt wird, der ein Fahrmanöver im Sinne des Wiedereinlenkens in den Leitstrahl ergibt. Fällt das Lenklicht ganz aus, so werden beide Motoren stillgesetzt, und das Modell stoppt.

Um Rückwirkungen des Antriebs auf die Tonschaltkreise zu vermeiden, sieht man Empfängerbatterie EB und Motorbatterie MB als getrennte Stromkreise vor. Der Ruhestromverbrauch des Empfängers bei fehlendem Lenklicht beträgt nur etwa 2 mA. Fremdlicht hat, solange es nicht erheblich stärker als das des Lenkscheinwerfers auf FD auftritt, keinerlei Einfluß. Praktisch gelingt es, das Modell auch bei hellem Tageslicht noch zu lenken, wenn der Lenklichtkegel auf dem Modell mit bloßem Auge nicht mehr zu erkennen ist.

6. Modellbahnelektronik

Modelleisenbahnen bieten für den Elektronikamateur ein reiches Betätigungsfeld. Darüber gibt es in der Amateurliteratur jedoch im Gegensatz zur Fernsteuertechnik noch nicht allzu zahlreiche Veröffentlichungen. Besonders verwiesen sei auf die unter [8] aufgeführte zusammenfassende Darstellung und auf die in [9] und [10] erschienenen Beiträge. Die Darstellung einer Gesamtschaltung ist im Rahmen dieser Broschüre nicht möglich, weil sie sich stets nach dem Umfang der Modellbahnanlage, Zahl der Züge und dem gewählten Gleisbild richtet. Dabei geht jeder Modellbahnamateur seine eigenen Wege. Die folgenden Abschnitte geben deshalb Schaltungsanregungen, die nach Bedarf in das vorhandene Gleisbild eingefügt und kombiniert werden können.

Bei den Beschreibungen wird im allgemeinen die TT-Spur zugrunde gelegt, die als weitverbreitete Standardspur angesehen werden kann. Selbstverständlich ist es möglich, die einzelnen Schaltungen auch für andere Spurgrößen zu verwenden. Für die Auslösung automatischer Schaltvorgänge und zur Zugbeeinflussung werden nur Trenngleise bzw. Trennstellen benutzt. Der Modellbahnbesitzer stellt sich diese Trennstellen durch vorsichtiges Durchsägen einer Schiene an den erforderlichen Stellen selbst her. Besondere Schalt- und Kontaktgleisausführungen sind also nicht erforderlich.

6.1. Fahrstromregler

Die beschriebenen Fahrstromregler eignen sich besonders dafür, eine ursprünglich batteriebetriebene TT-Anlage auf Netzbetrieb umzustellen, sie können aber auch in anderen Anlagen an die Stelle bereits vorhandener Fahrstromregler treten.

6.1.1. Einfacher Fahrstromregler mit 2 Dioden

Bild 17a zeigt eine Möglichkeit für einen einfachen Fahrstromregler. Benutzt wird als Netztransformator ein handelsüblicher Klingeltransformator für 8 V~/1 A. Klingeltransformatoren sind kurzschlußfest, so daß die bei Modellbahnen nicht zu entbehrende Kurzschlußsicherung keine besonderen Maßnahmen erfordert. Da die Lok Gleichstrom benötigt, wird die Trafospannung mit 2 Dioden gleichgerichtet. Es arbeitet jeweils nur 1 Diode in Einwegschaltung. Der Fahrstromregler soll eine ausreichend hoch belastbare Drahtpotentiometerausführung sein, möglichst für 10 W; Widerstand je nach dem benutzten Lokfabrikat. In Mittelstellung des Fahrstromreglers P heben sich die von beiden Dioden erzeugten Spannungen auf. Für eine Wechselstromhalbwelle sind die linke Potentiometerhälfte und rechte Diode, für die andere Halbwelle die rechte Potentiometerhälfte und linke Diode wirksam. Am Ausgang (Anschlußgleis) tritt dann eine reine Wechselspannung auf, die durch die Elkos (je 2 Stück antiparallel, da beide Polaritäten auftreten) kurzgeschlossen wird. In der linken Potentiometerendstellung wirkt nur die rechte

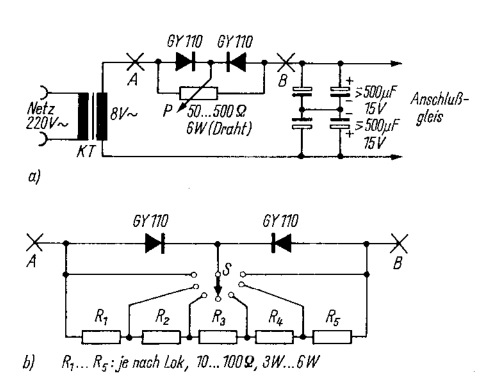


Bild 17 Einfacher Fahrstromregler mit 2 Dioden

Diode, so daß am Ausgang eine Gleichspannung mit Minuspol am oberen Anschluß auftritt. In der rechten Potentiometerendstellung arbeitet die linke Diode, so daß die Spannung am Ausgang mit umgekehrter Polung auftritt, was der entgegengesetzten Fahrtrichtung entspricht. In Mittelstellung von P stoppt daher die Lok und kann von da aus in beiden Richtungen kontinuierlich bis zur Höchstgeschwindigkeit geregelt werden. (Die Elkos können eventuell entfallen, jedoch neigt die Lok dann bei langsamer Fahrt und im Stillstand zu störendem Brummen.) Statt eines hochbelastbaren Drahtpotentiometers kann eine stufenweise Fahrtregelung mit Stufenschalter vorgesehen werden. Bild 17b zeigt diese Variante, die man bei Anschlußpunkt A–B (Bild 17a) an Stelle von P und den Dioden einsetzt. Die Funktion ist sinngemäß die gleiche, jedoch sind Dioden und Anschlußgleis in Mittelstellung des Fahrschalters S stromlos, im Gegensatz zur Schaltung mit dem Potentiometer. Insofern ist die Verwendung des Schalters vorteilhafter. Nach Bedarf können auch mehr Schaltstufen vorgesehen werden, wobei entsprechend mehr Widerstände eine feinere Unterteilung der Fahrgeschwindigkeiten erlauben. Die Widerstände R sind zweckmäßig nach Versuch festzulegen, da sie von Lokeigenschaften, Streckenführung usw. abhängen. Man bemißt die Werte so, daß sich eine als zweckmäßig empfundene Geschwindigkeitsregelung einstellt; die einzelnen R-Werte können unterschiedlich groß sein. Als Dioden eignen sich alle Ausführungen von Germaniumdioden mit mindestens 1 A Belastbarkeit.

6.1.2. Fahrstromregler mit einem Transistor

Bild 18 zeigt einen Fahrstromregler mit 1 Transistor. Als Netztrafo kann ebenfalls ein Klingeltrafo für 8 V~/1 A benutzt werden. Die Gleichrichtung erfolgt mit 4 Stück 1-A-Germaniumdioden. Dieser Fahrstromregler arbeitet im Unterschied zu anderen Schaltungen nicht als Spannungsregler, sondern als Stromregler, d. h., die Lok bekommt keine bestimmte Fahrspannung angeboten, sondern wird

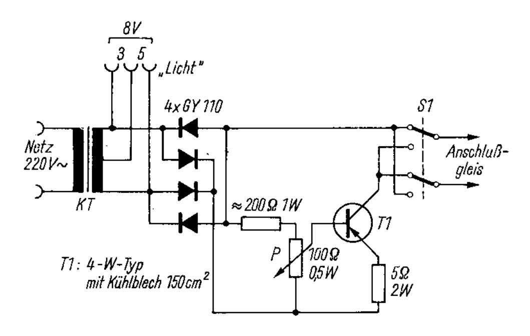


Bild 18 Fahrstromregler mit Transistor. Die Schaltung arbeitet mit konstant gehaltenem Fahrstrom und ist daher automatisch kurzschlußfest

mit einem konstanten Strom gespeist, den man mit Fahrtregler P einstellt. Dadurch ergeben sich günstiges Fahrverhalten der Lok und weitgehende Unabhängigkeit von Übergangswiderständen, wie sie durch Verschmutzung, z. B. zwischen Schienen und Lokrädern, häufig auftreten. Gleichzeitig ist die Schaltung wegen der konstanten Stromeinspeisung kurzschlußfest; man kann also auch einen nicht kurzschlußfesten Netztransformator, etwa einen Rundfunkgerät-Heiztrafo, ohne besondere Kurzschlußsicherung verwenden. Der Trafo liefert, wie in Bild 18 angedeutet, gleichzeitig Spannungen für Beleuchtungszwecke. T1 muß im Hinblick auf die an ihm auftretende Verlustleistung ein 4-W-Typ sein. Das Prinzip der Konstantstromspeisung ist in [1] näher erläutert. Da der Fahrstrom nicht mehr unmittelbar über den Fahrregler P fließt, genügt für diesen eine übliche kleine Ausführung; auch 0,5-W-Schichtpotentiometer sind geeignet. Der 200-Ω-Widerstand vor P kann bedarfsweise je nach Lokeigenschaften etwas im Wert geändert werden, falls sich beim oberen Anschlag von P nicht die volle Fahrgeschwindigkeit erreichen läßt. Wird der Wert wesentlich geringer als 200 Ω, so muß allerdings die Transistorbelastung beachtet werden. S1 polt die Fahrspannung zwecks Fahrtrichtungswechsels um.

6.1.3. Fahrstromregler mit 3 Transistoren und Strombegrenzung

Eine allen Anforderungen genügende Schaltung für einen Fahrstromregler zeigt Bild 19. Als Netztransformator wird ein Typ für mindestens 12 V, maximal 16 V~/1 bis 1,5 A, benötigt. Er kann gleichzeitig über weitere Wicklungen die Beleuchtungsspannungen und sonstige Hilfsspannungen abgeben (in Bild 19 nicht gezeichnet). Der Fahrstromregler ist P1, ein 100-Ω-Drahtpotentiometer. Der Lok wird von dieser Schaltung eine mit P1 regelbare Spannung angeboten. Die Kurzschlußsicherung erfolgt elektronisch durch Begrenzung des Höchststroms auf maximal 1 A. Lampe La1 (nicht unbedingt erforderlich) zeigt das Vorhandensein der Fahrspannung am Gleis an. Bei zu hoher Stromentnahme, z. B. im Kurzschlußfall, entsteht am Widerstand R1 (den man durch Parallelschalten von zwei 1-Ω-Widerständen erhält oder aus etwas Widerstandsdraht selbst anfertigt) ein Spannungsabfall, der über P2 die Diode *GA 100 (OA 625)* öffnet und T3 ansteuert. T3 schließt die Basisspannung für die Regeltransistoren T1, T2 kurz, womit

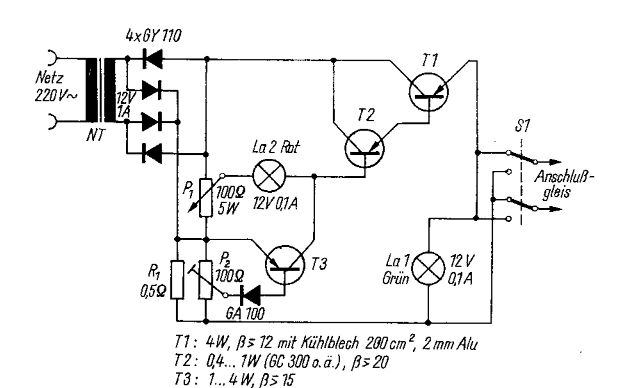


Bild 19 Fahrstromregler mit 3 Transistoren. Die Schaltung arbeitet als Spannungsregler und hat eine Höchststrombegrenzung als Kurzschlußsicherung

die Gleisspannung reduziert wird oder fast ganz verschwindet. Die dabei aufleuchtende Lampe La2 zeigt den Kurzschluß an. Nach Beseitigung der Kurzschlußursache sperrt T3 wieder, und die Regeltransistoren T1, T2 sind damit wieder freigegeben; ein besonderes Wiedereinschalten ist also nicht erforderlich. Mit P2 wird die Ansprechstromstärke der Sicherung so eingestellt, daß La2 bei Überschreiten des von der Lok maximal aufgenommenen Stromes, spätestens aber bei 1 A Stromentnahme, aufleuchtet. Bei der Ersterprobung Vorsicht mit P2: Wenn P2 am Anschlag nach P1 steht, ist die Sicherung außer Betrieb, ein Kurzschluß zerstört dann T1 und T2! Man beginnt mit P2 daher am unteren Anschlag.

6.1.4. Proportionalimpuls-Fahrstromregler

Der nachfolgend beschriebene, aufwendigere Fahrstromregler kann als Spezial-Fahrregler für Rangierfahrten und Langsamfahrten angesehen werden und ist für größere Anlagen, bei denen es auf möglichst „echten" Bahnbetriebsablauf ankommt, geeignet.
Alle üblichen Fahrstromregler haben einen Nachteil, der durch die mechanischen Eigenschaften der Lok bedingt ist: Ein extrem langsames Anfahren („Schrittfahren"), wie es z. B. für Rangierbetrieb notwendig ist, läßt sich nicht erreichen, weil die Lok zunächst eine bestimmte Mindestfahrspannung braucht, um die Antriebs-Lagerreibung und mechanische Trägheit beim Anfahren zu überwinden. Nach Anfahren geht sie dann jedoch sofort auf die durch die Anfahrspannung vorgegebene Fahrgeschwindigkeit. Um diesen Mangel zu umgehen, eignet sich das im Zusammenhang mit anderen Fernsteuerschaltungen beschriebene Proportionalimpuls-Verfahren gut. Da es bereits ausführlich beschrieben wurde, sei an dieser Stelle nur daran erinnert, daß der Motor hierbei ständig die volle Fahrspannung (15- bis 20mal je Sekunde ständig umgepolt) erhält. Sein Anker und das damit verbundene Getriebe bei geeigneter Festsetzung der Impulsfrequenz (Flatterfrequenz) bis zu den Lokrädern „rüttelt" daher, so daß keine Anfahr-La-

gerreibung auftreten kann. Wie auch bei anderen Proportionalverfahren kann man darum den Motor, in diesem Fall die Lok, tatsächlich extrem langsam fahren und millimetergenau rangieren.
Die bisher beschriebenen Proportionalverfahren haben 2 Nachteile: Das ist einmal der ständige hohe Stromverbrauch – er spielt bei der netzgespeisten Modellbahn keine Rolle! Zum anderen das zunächst notwendige Flatterrelais, das den Motorstrom ständig und zeitkonstant umpolt. Mit etwas mehr Aufwand kann, wie in Abschnitt 2.5. bereits beschrieben, der zuletzt genannte Nachteil ebenfalls behoben werden. Damit erweist sich, sofern der Materialaufwand im Fahrstromregler tragbar erscheint, die Proportionalsteuerung gerade für Modellbahnen als sehr vorteilhaft.
Bild 20 zeigt zunächst eine weniger materialaufwendige Schaltung für den Fahrstromregler unter Verwendung eines Flatterrelais. Lok und Gleisanlage bleiben unverändert. Im Fahrstromregler ist der bereits früher beschriebene Proportionalimpulsgeber (vgl. in [1] und [11]) mit T2, T3 vor-

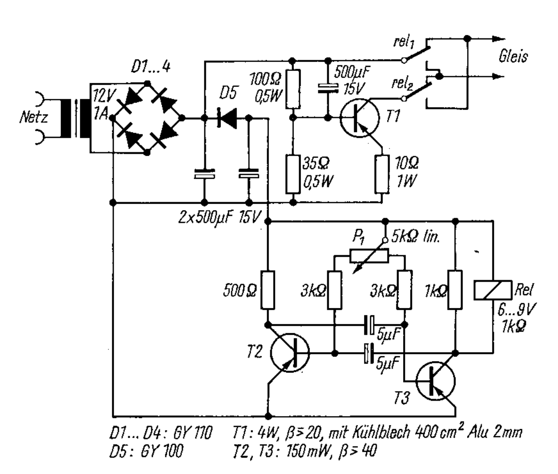


Bild 20 Schaltung eines einfachen Proportionalimpuls-Fahrstromreglers mit Flatterrelais

handen. P1 ist das Bedienungsorgan für den Fahrbetrieb, der eigentliche Fahrtregler. Die beiden 5-μF-Elkos können, um eine für die Mechanik der vorhandenen Lok optimale Flatterfrequenz zu erreichen, im Wert etwas geändert werden. Das Flatterrelais Rel erfordert allerdings relativ hohe Schaltgenauigkeit und Kontaktbelastung. Ein geeignetes Relais ist das entscheidende Organ für den gesamten Fahrstromregler! Am besten eignen sich polarisierte Telegrafenrelais mit 2 Umschaltkontakten, wie sie auch in Fernschreibmaschinen verwendet werden. Normal große Postrelais lassen sich meist nicht benutzen. Wie weit sich Kleinrelais eignen, kann man nur von Fall zu Fall ausprobieren.

Die Relaiskontakte rel 1, rel 2 polen im Takt der Flatterfrequenz den Fahrstrom um. Die Lok bekommt ständig einen konstanten Fahr*strom* angeboten (Reglerprinzip nach Abschnitt 6.1.2.), was für das Prinzip günstig ist und gleichzeitig die notwendige Kurzschlußsicherheit des Fahrstromkreises gewährleistet. Den Fahrstrom stellt man einmalig (je nach Lokexemplar) so ein, daß die maximale Fahrgeschwindigkeit gerade erreicht wird. Zu diesem Zweck kann, da diese Einstellung recht unkritisch ist, der Emitterwiderstand von T1 eventuell vergrößert werden, was geringeren Fahrstrom ergibt (10 Ω sind Mindestwert!). Mit 10 Ω gibt der Fahrstromregler an das Gleis maximal 0,3 A ab, wobei die Spannung bei etwa 9 V liegt. Als Netztrafo eignet sich eine Ausführung für 12,6 V (z. B. Heiztrafo für 12,6 V~ oder 2 $\times$ 6,3 V~ in Serie!). Der hinter D5 liegende Siebelko für den Impulsgeber T2, T3 soll möglichst groß sein, das gleiche gilt für den zwischen D1 · · · D4 und D5 liegenden Ladeelko; je 500 μF sind Mindestwert. Falls trotzdem noch durch restliche 50-Hz-Brummspannung im Proportionalgeber eine zeitweilige Synchronisation der Flatterfrequenz mit der Netzfrequenz auftritt (erkennbar am „Stottern" des Relais oder an nicht kontinuierlich verlaufender Regelcharakteristik an P1 sowie an sporadischen Geschwindigkeitsänderungen und am „Springen" der Lok), müssen die Elkos, insbesondere der rechts von D5 liegende

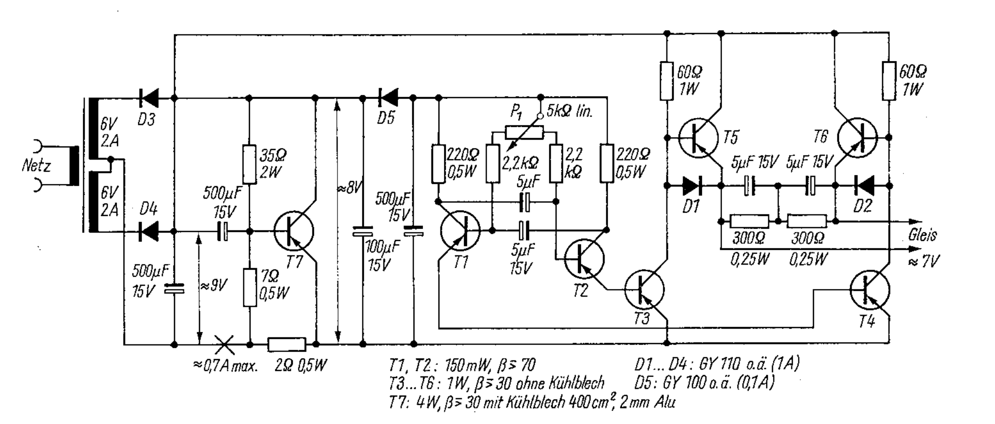


Bild 21 Gesamtschaltung eines Proportionalimpuls-Fahrstromreglers mit kontaktloser Loksteuerung. Die Schaltung ist kurzschlußfest und ermöglicht insbesondere extrem langsame Rangierfahrten der Lok

Siebelko, auf 2000 μF oder mehr vergrößert werden (1000-μF-Elkos in ausreichender Zahl parallelschalten). Transistor T1 ist mit Kühlblech (400 cm^2, 2 mm Alublech) zu versehen.

Mit P1 in Mittelstellung kommt die Lok zum Stillstand und läßt sich von hier aus kontinuierlich nach beiden Seiten bis zur Höchstgeschwindigkeit regeln. Wird der Regler nur für Rangierzwecke und Langsamfahrten benutzt, so kann man den Regelbereich von P1 einengen und dann noch präziser rangieren. Dazu wird P1 mit 1 kΩ bemessen, und seine beiden 3-kΩ-Vorwiderstände werden auf je 5 kΩ erhöht.

Ein kritischer Bauteil ist das Flatterrelais. Durch entsprechenden Aufwand kann dieses Relais entfallen, womit man zu einer „vollelektronischen" Proportionalsteuerung für die Lok kommt. Diese Schaltung zeigt Bild 21. Der Aufwand von insgesamt 7 Transistoren und 5 Dioden für den Fahrstromregler ist bei Verwendung der sehr preiswerten Bastlertransistoren und im Gesamtrahmen größerer Modellbahnanlagen keineswegs zu hoch. Als Netztrafo eignet sich dabei am besten ein ausreichend kräftiger Heiztrafo für Rundfunk- oder Fernsehgeräte mit den in Bild 21 angegebenen Daten. D3 und D4 stellen in Zweiweggleichrichtung die Betriebsspannung bereit. Für den rechts von D5 liegenden Siebelko 500 μF gilt das bei Bild 20 bezüglich Synchronisationsgefahr mit der Netzfrequenz Gesagte. Ist der Aufwand tragbar, so sollte man in diesem Fall 1000 μF oder mehr einsetzen. Allerdings bewirkt bereits die Netzteilschaltung mit dem als Parallelregler arbeitenden Regeltransistor T7 eine sehr gute Brummsiebung, so daß das Problem weniger kritisch ist als bei Bild 20. T7 arbeitet als Parallelregler gemäß der in [1] (dort Abschnitt 3.4.3.) beschriebenen Schaltung. Dadurch wird wiederum die erforderliche Kurzschlußfestigkeit (Maximalstrombegrenzung) sowie gute Spannungskonstanz auch bei schwankender Lokbelastung erreicht. Die Lok erhält hierbei im Gegensatz zum Prinzip nach Bild 20 eine konstante Fahr*spannung* von etwa 7 V.

Der Proportionalimpulsgeber mit T1, T2 und Fahrregler P1 entspricht dem bereits Bekannten. An Stelle des Flatterrelais wird die Lok jetzt jedoch kontaktlos nach dem vorangehend in Abschnitt 2.5. beschriebenen Prinzip angesteuert. Um dabei eine im Hinblick auf eine kurzschlußfeste Netzteilschaltung schwierige Mittelanzapfung der Stromquelle zu umgehen, benutzt man die in Bild 9 dargestellte Schaltung „zweiseitig". T3 und T5 in Bild 21 entsprechen T4, T5 in Bild 9; die gleiche Schaltung ist, im Gegentakt arbeitend, in Bild 21 nochmals mit T4, T6 vorhanden. Da der Fahrstromnetzteil kräftige Ansteuerung ermöglicht, kann man auf die in Bild 9 noch vorhandenen Vorverstärkertransistoren T1 · · · T3 verzichten.

Die beiden „Hälften" der Schaltung müssen bei T3 und T4 im Gegentakt angesteuert werden (bei Fernsteuerempfängern gemäß Bild 9 steht gewöhnlich nur 1 Signal zur Verfügung!); im vorliegenden Fall ist das einfach, da ja bereits im Impulsgeber T1 und T2 in Gegentaktschaltung arbeiten. Damit entfällt die Notwendigkeit einer zusätzlichen Phasenumkehr für das zweite Steuersignal.

Bis auf die bei Modellbahnstromversorgungen mögliche niederohmige Dimensionierung entsprechen die einzelnen Schaltungsteile dem vorangehend Beschriebenen, so daß sich weitere Angaben dazu erübrigen. Speziell der Modelleisenbahner sei auf [1] verwiesen, wo sämtliche in Bild 21 auftretenden Teilschaltungen (wenn auch in anderem Zusammenhang, so doch funktionell gleichartig) und auch das Prinzip sowie die Wirkungsweise der Proportionalsteuerung beschrieben sind.

T7 muß mit Kühlblech, entsprechend den Angaben (Bild 21), versehen werden. T1 · · · T6 brauchen keine Kühlung. Die zwischen den Gleisanschlüssen (Emitter T5, T6) liegenden RC-Glieder 5 μF/300 Ω schützen die Transistoren gegen mögliche Überspannungsspitzen vom Lokmotor her oder bei Kurzschlüssen im Fahrstromkreis. Im Kurzschlußfall bricht lediglich die Fahrspannung zusammen, Schäden können nicht entstehen. Nach Beseitigung des Kurzschlusses ist die Fahrspannung wieder vorhanden.

Bezüglich T7 sei erwähnt, daß dieser Transistor bei *un*belastetem Gleis am stärksten belastet wird. Bei abgetrenntem Gleis oder entfernter Lok erwärmt er sich daher stärker als bei vorhandener oder fahrender Lok! Dies ist also *keine* Fehlererscheinung. Für die Lok steht bei der angegebenen Fahrspannung von etwa 7 V ein (für alle üblichen Modelle völlig ausreichender) maximaler Fahrstrom von 0,3 A zur Verfügung.

Bei beiden beschriebenen Proportionalverfahren ist zu beachten, daß am Gleis eine Impuls-*Wechsel*spannung, nicht die gewohnte fahrtrichtungsabhängige Gleichspannung, liegt, was man beim eventuellen Einsatz weiterer Automatiken im Gleisnetz berücksichtigen muß. Typisch für das Proportionalverfahren ist ferner das deutliche „Brummen" des Lokmotors auch im Stillstand, hervorgerufen durch den „rüttelnden" Antrieb. Es kann als Zeichen der Betriebsbereitschaft angesehen und etwa dem Betriebsgeräusch einer fahrbereiten Diesellok gleichgesetzt werden.

6.2. Fahrstrombegrenzung für Gefällestrecken

Wenn im Gleisbild eine Steigung vorhanden ist, muß diese in aufsteigender Richtung mit vollem Fahrstrom befahren werden. In fallender Richtung empfiehlt sich jedoch Verringerung der Fahrspannung, um ein Entgleisen des Zuges durch zu hohe Geschwindigkeit zu verhindern, besonders wenn am Ende des Gefälles eine Kurve folgt. Dies kann automatisch durch eine fahrtrichtungsabhängige Bremsung geschehen, wie Bild 22 zeigt. Die Steigungsstrecke wird dazu durch 2 an ihrem Anfang und Ende in

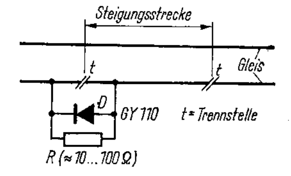


Bild 22
Fahrstrombegrenzung für Gefällestrecken. Die Bremsung der Lok durch den Widerstand R ist nur in einer Fahrtrichtung wirksam

einer Schiene eingesägte Trennstellen elektrisch vom übrigen Fahrstromkreis getrennt und mit diesem durch eine Diode D und Widerstand R verbunden. D ist so gepolt, daß sie für die bei Aufwärtsfahrt auftretende Fahrstrompolung in Durchlaßrichtung arbeitet. Der Zug erhält für diese Fahrtrichtung daher den normalen Fahrstrom. Bei Abwärtsfahrt ist die Fahrspannung umgepolt, D sperrt, und die Lok erhält nach Überfahren der Trennstelle innerhalb der Steigung ihren Strom über R. Dieser Widerstand schwächt den Fahrstrom und bremst damit die Lok. R wird nach Versuch (je nach Lokeigenschaften und Gleisbild) auf günstigstes Bergab-Tempo bemessen. Die Strecke kann dann in beiden Richtungen mit gleicher Fahrreglerstellung durchfahren werden.

6.3. Fahrtrichtungsabhängige Lichtsignale

In manchen Fällen ist es erwünscht, einem Gleisabschnitt ein Rot/Grün- oder anderes Lichtsignal zuzuordnen, dessen Stellung in festem Zusammenhang mit der Fahrtrichtung des Zuges steht. So kann z. B. an einem Abstellgleis das Einfahrtsignal stets Grün zeigen, wenn die Fahrspannung am Gleis so gepolt ist, wie es dem einfahrenden Zug entspricht. Umgekehrt gepolte Fahrspannung entspricht dann dem auf dem Abstellgleis herausfahrenden Zug – in diesem Fall kann auch bei freiem Gleis kein Zug einfahren, so daß das Einfahrsignal dann in jedem Fall Rot zu zeigen hat. In derartigen Fällen erreicht man eine Zuordnung des Lichtsignals zur Fahrtrichtung, indem die Signale über Dioden von der Fahrspannung gespeist werden, wie Bild 23

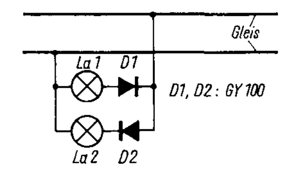


Bild 23
Fahrtrichtungsabhängiges Lichtsignal

zeigt. Je nach Polung der Fahrspannung öffnet entweder D1 und setzt La1 in Betrieb, oder D2 öffnet, und La2 leuchtet. Nachteil dieser Schaltung ist, daß die Helligkeit des Signals von der Fahrspannung abhängt – bei Fahrstromregler in Nullstellung sind beide Signale erloschen. Das widerspricht zwar den echten Eisenbahnbetriebsvorschriften, ist aber bei Modellbahnanlagen an Abstellgleisen, vor Lokschuppeneinfahrten u. ä. vertretbar, zumal bei erloschenem Signal und fehlender Fahrspannung ja ohnehin keine Zugfahrt möglich ist.

6.4. Blocksysteme

6.4.1. Streckenblocksysteme

Wie weit eine Streckenblockierung „perfektioniert" werden kann, hängt nicht nur vom Umfang der Gleisanlagen ab, sondern ist auch eine Aufwandsfrage. Es gibt mehrere Möglichkeiten. Im folgenden werden, obwohl auch Schaltungslösungen für kontaktlose Schaltung der Blockstrecken bekannt sind [9] [10], nur Schaltungen mit Relais gezeigt, da eine kontaktlose Schaltung mehr Halbleiter erfordert und daher keine Einsparung bringt; außerdem ist eine auch bei größeren Anlagen übersichtliche, mit weiteren elektronischen Einrichtungen kombinierte Schaltungstechnik nur mit Relais sinnvoll zu realisieren.
Einfache Blocksysteme sind nur für eine Fahrtrichtung zu verwenden; mit etwas höherem Aufwand kann man jedoch auch zu einer in beiden Fahrtrichtungen arbeitenden Blockschaltung kommen. Im Hinblick hierauf und auf einfachere Realisierbarkeit im Gleisbild (geringere Anzahl von Trennstellen) wird bei den folgenden Schaltungen nicht in Auslösegleis und Bremsgleis unterteilt, sondern jeder zu einem Blockabschnitt gehörende Gleisabschnitt stellt in seiner ganzen Länge zugleich das Auslöse- und Bremsgleis dar.
Bild 24 zeigt 3 Varianten für Blocksysteme, dargestellt an einem Gleisstück. *Zu beachten ist, daß es sich nicht um eine einzige Schaltung handelt!* Benutzt wird entweder System I oder System II oder System III! Das gewählte

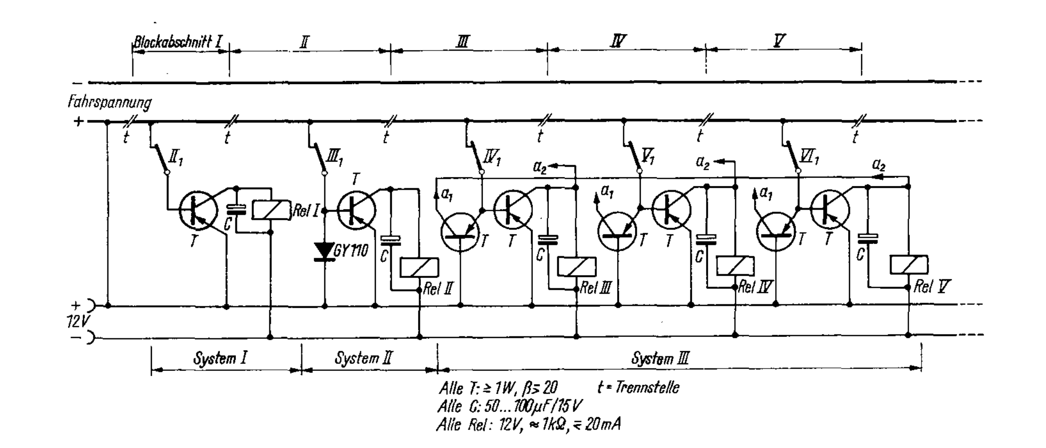


Bild 24 Streckenblocksysteme. Erklärung im Text. Die verschiedenen Systeme I, II und III sind zur besseren Erklärung an einem einzigen Gleisstück gezeichnet. Man verwendet in allen Blockabschnitten einheitlich nur eines der Systeme. Die Systeme I und II arbeiten nur in einer Richtung, wobei Befahren in Gegenrichtung nur bei System II zulässig ist. System III arbeitet in beiden Fahrtrichtungen

System ist in der Modellbahnanlage so oft vorhanden, wie Blockabschnitte vorgesehen sind. Zunächst sei System I besprochen. Dazu gehört Rel I und der beiderseits durch Trennstellen vom Fahrstromkreis abgetrennte Blockabschnitt I. Zum Auslösen des Blockes wird nicht die Fahrspannung benutzt – dies würde ein besonderes Schaltgleisstück erfordern –, sondern der Fahrstrom der Lok.

System I kann nur für eine Fahrtrichtung benutzt werden, Betrieb in Gegenrichtung ist unzulässig! Die Lok fährt z. B. von links in Blockabschnitt I ein. Sobald sie die Trennstelle überschritten hat, fließt ihr Fahrstrom von der oberen Schiene über Lok, untere Schiene, Kontakt II_1, Basis T, Emitter, zum Pluspol der Fahrspannung. T wird durch den Lokstrom angesteuert, so daß Relais Rel I anzieht. Ein Kontakt dieses Relais schaltet, wie nachfolgend bei den anderen Systemen noch gezeigt wird, den vorangehenden Blockabschnitt ab. Verläßt die Lok den Blockabschnitt I, so werden T und Rel I wieder stromlos.

Betrieb in Gegenrichtung beansprucht die Basis-Emitter-Strecke von T in Sperrichtung mit dem vollen Fahrspannungswert. Dadurch bleibt nicht nur die Lok stehen, sondern T ist gefährdet. Dieser Nachteil wird durch System II vermieden, das auch in Gegenrichtung befahren werden darf, dann allerdings wirkungslos bleibt. Die Lok möge von Blockabschnitt I in Abschnitt II überwechseln. Ihr Fahrstrom fließt jetzt, wie bei Block I schon beschrieben, über Kontakt III_1, T, Plusleitung. T öffnet, Rel II zieht an, öffnet seinen Kontakt II_1 im vorhergehenden Blockabschnitt I, so daß dessen untere Schiene spannungslos wird und ein dort einfahrender Zug automatisch in Blockabschnitt I zum Stehen kommt. Sinngemäß würde Rel I den nicht gezeichneten, vorangehenden Blockabschnitt stromlos machen, d. h., jedes Relais hat seinen zugehörigen Kontakt im *vorangegangenen* Blockabschnitt!

Fahrtrichtungsumkehr bedeutet bei System II, daß jetzt T wiederum nicht ansprechen kann, Rel II nicht anspricht und das Blocksystem wirkungslos bleibt (das Relais darf auch deshalb nicht ansprechen, weil dann die Lok den

jetzt vor ihr liegenden Blockabschnitt stromlos machen und auf diese Weise sich selbst bremsen würde!). Für diesen umgepolten Fahrstrom schließt jedoch die in System II hinzugekommene Diode *GY 110* den Fahrstromkreis, so daß T nicht beschädigt werden kann. System II verhält sich also wie System I, man darf es jedoch im Gegensatz zu diesem auch in Gegenrichtung befahren.

In beiden Richtungen wirksam ist Blocksystem III, das allerdings je Blockabschnitt 2 Transistoren benötigt. In Fahrtrichtung von links kommend, wirkt es wie die bereits besprochenen Systeme: Die Lok möge von Abschnitt II auf III überwechseln. Über IV_1 erhält der rechte Transistor T in Block III Basisstrom, öffnet, und Rel III zieht an. Durch Öffnen von Kontakt III_1 wird somit das vorhergehende Blockgleis II stromlos. Wechselt die Lok von III nach IV über, so zieht über V_1 und den rechten Transistor im Block IV Rel IV, in Block III öffnet IV_1, womit Block III stromlos wird. Dadurch werden auch die Transistoren in Block III stromlos, Rel III fällt ab, III_1 schließt wieder, so daß der Block II wieder befahrbar ist. Entsprechend zieht, sobald die Lok sich im Block V befindet, Rel V an, V_1 öffnet, IV_1 schließt wieder. Die Lok kehrte nun die Fahrtrichtung um und wechselte von Block IV nach III. Ihr jetzt in umgekehrter Richtung fließender Fahrstrom über IV_1 öffnet in Block III den linken Transistor, während der rechte gesperrt, Rel II also abgefallen bleibt. Der linke Transistor ist über Leitung a1–a2 (diese a-Leitung führt stets nach rechts zum übernächsten Block!) mit Rel V verbunden, jetzt zieht also Rel V und öffnet V_1. Damit wird der soeben von der Lok verlassene Blockabschnitt IV stromlos. Sinngemäß verläuft die Blockierung bei den weiteren Abschnitten in System III. Aus Übersichtlichkeitsgründen wurde diese Verkettung der Blockabschnitte untereinander bei System III nur für einen Block vollständig gezeichnet. Grundsätzlich geht man davon aus, daß innerhalb des Gleisbilds alle Blockabschnitte (eines einzigen benutzten Systems!) zu einer „Ringschaltung" zusammengefügt sind. Bei System III bedeutet das, der Ruhekontakt

des zu einem Block gehörenden Relais sitzt in dem links benachbarten Block, während die von dem Block ausgehende a-Leitung nach rechts im übernächsten Block am dortigen Blockrelais angeschlossen ist. System III erfordert daher eine gerade Anzahl von Blockabschnitten. Ein in Bild 24 nicht gezeichneter weiterer Blockabschnitt IV enthielte also ein Relais Rel VI, dessen Kontakt VI_1 man in Bild 24 in Block V sieht. Die von Block VI kommende a-2-Leitung wäre in Bild 24 mit a1 in Block IV verbunden usw. Als Hilfsspannung für das Blocksystem benutzt man eine zu den Relais passende Spannung um 12 V. Sie kann gegebenenfalls über Gleichrichter dem Beleuchtungstrafo entnommen werden. Hingewiesen sei auf die Möglichkeit, mit weiteren Kontakten der Blockrelais die zugehörigen Blocklichtsignale sinnrichtig zu schalten. So kann z. B. Rel IV ein an der Trennstelle t zwischen Block III und IV aufgestelltes Signal von Grün auf Rot umschalten. Bei dem 2seitig betriebsfähigen System III gelten die Signale dann allerdings nur für jeweils eine Fahrtrichtung, müssen also zu beiden Seiten des Gleises (ein Signal je Fahrtrichtung und Block) aufgestellt werden. Eventuell kann man sie mit Dioden (ähnlich Bild 23) fahrtrichtungsabhängig machen, so daß stets nur das für die benutzte Richtung gültige Signal in Betrieb ist, das dann durch das Blockrelais auf Rot oder Grün geschaltet wird.

6.4.2. Blockierung von Kreuzungen

Um auf Gleiskreuzungen Zusammenstöße zu vermeiden, kann man die einander kreuzenden Gleise gegenseitig blockieren.

Bild 25 zeigt eine dafür geeignete Schaltung, die in beiden Fahrtrichtungen arbeitsfähig ist. Die Kreuzungsgleise werden durch Trennstellen t vom Fahrstromkreis abgetrennt. Die Trennstellen müssen so weit von der Kreuzung entfernt sein, wie es der maximal vorkommenden Zuglänge entspricht, um zu vermeiden, daß ein die Kreuzung verlassender Zug die Kreuzung bereits freigibt, bevor der letzte Wagen die Kreuzung verlassen hat. Als Auslösekrite-

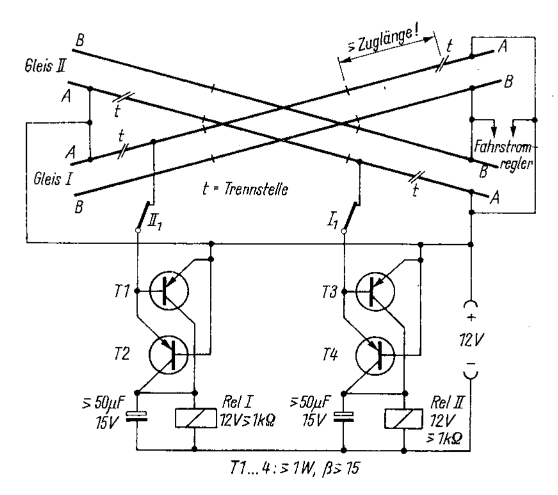


Bild 25 Automatische Kreuzungsblockierung. Vorfahrt hat stets der Zug, der zuerst den Kreuzungsbereich erreicht

rium für den Belegtzustand der Kreuzung dient der Fahrstrom der Lok.

Eine Lok nähere sich im Gleis I von links der Kreuzung. Sobald sie die Trennstelle überfahren hat, fließt ihr Fahrstrom von Schiene B über Lok, obere Schiene, Kontakt II_1, Basis-Emitter T1 zur Schiene A. T1 öffnet, und Rel I zieht an. Dabei öffnet Kontakt I_1, womit Gleis II stromlos wird. Ein dort einfahrender Zug bleibt somit nach Überfahren der Trennstelle vor der Kreuzung stehen. Sobald die Lok im Gleis 1 die Kreuzung verlassen und die darauffolgende Trennstelle überfahren hat, wird T1 wieder stromlos, Rel I fällt ab und schließt I_1; die im Gleis II wartende Lok kann nun durchfahren. Diese öffnet über I_1 den Transistor T3, wobei Rel II zieht und II_1 öffnet, so daß Gleis I stromlos ist. Es schaltet also jeweils die Lok das kreuzende Gleis ab, die zuerst ihre Trennstelle vor der Kreuzung überfährt, so daß eine später eintreffende Lok anhält.

Bei umgekehrter Fahrtrichtung ergibt sich die gleiche Funktion; lediglich ist T2 jetzt an Stelle von T1 wirksam,

und an Stelle von T3 arbeitet T4. Jeweils 2 Transistoren sind eingangsseitig „antiparallel" geschaltet, wobei für jede Fahrtrichtung einer von beiden „zuständig" ist. Auch in diesem Fall können weitere Relaiskontakte entsprechende Lichtsignale vor den Kreuzungseinfahrten schalten, wobei z. B. Rel II die an Gleis I stehenden Signale auf Rot schaltet. Die Relaishilfsspannung kann, wie schon bei den Streckenblocksystemen erwähnt, ebenfalls durch Gleichrichtung aus dem Beleuchtungstrafo gewonnen werden. Bei der Blockierung wie auch bei den Blocksystemen sprechen die Relais bereits bei einer Fahrspannung von 0,5 V an, bei denen die Lok noch nicht anfährt. Aber 1-W-Leistungstransistoren sind bei der Strecken- und der Kreuzungsblockierung nicht wegen der Relais, sondern im Hinblick auf die verhältnismäßig hohen von ihnen über die Basis-Emitter-Strecke aufzunehmenden Lok-Fahrströme notwendig. Die Transistoren benötigen jedoch keinerlei Kühlung. Der durch die Transistoren innerhalb der Streckenblocks und Kreuzungen entstehende Fahrspannungsverlust beträgt nur wenige Zehntel Volt, so daß die Funktion der Lok nicht beeinflußt wird.

6.4.3. Blockierung von Weichen

Blockierung einer Weicheneinfahrt ist sinnvoll in einlaufender Richtung für das je nach Weichenstellung „tote" Gleis. Sie läßt sich relativ einfach verwirklichen und vermeidet bei Auffahren auf eine falsch gestellte Weiche das Entgleisen des Zuges. Bild 26 zeigt das Prinzip. Die einlaufenden Gleise werden 1polig durch Trennstellen t vom Fahrstromkreis abgetrennt. Die Trennstelle muß so weit vor der Weiche liegen, daß eine die Trennstelle überfahrende Lok mit Sicherheit noch vor der Weiche zum Stehen kommt. Es ist lediglich dafür zu sorgen, daß in Abhängigkeit von der Stellung der Weichenzunge stets entweder Schiene a oder Schiene b keinen Strom führt. Die Weichenzunge nimmt je nach ihrer Stellung immer das Potential entweder der oberen oder der unteren Schiene des von rechts kommenden Gleises an. Mit dem Drehpunkt der

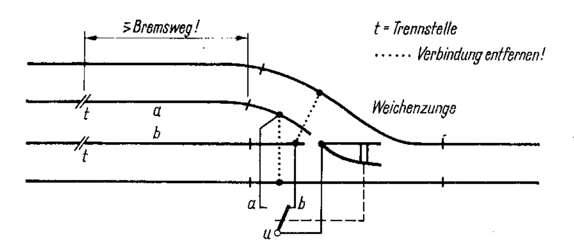


Bild 26 Fahrstromschaltung bei der Weichenblockierung

Zunge wird ein Umschaltkontakt u verbunden, der, entsprechend der Weichenstellung, das Potential der Zunge auf die ihrer Stellung gemäß zugehörige Schiene a oder b durchschaltet. Das jeweils „tote" Gleis ist dann zwangsläufig stromlos, wenn Kontakt u stets synchron mit der Weichenzunge umschaltet. Im einfachsten Fall geschieht das dadurch, daß man u mechanisch mit der Zunge oder dem Weichengestänge koppelt. Eine derartige Lösung ist z.B. bei handbedienten Weichen durch Anbau von 1 Gleitkontaktfeder und 2 Kontaktblechen unterhalb des Weichenbodens möglich, wobei die Gleitfeder als Kontakt u mit der Zunge verbunden wird. Die ganze Blockierungsschaltung besteht dann nur aus der in Bild 26 gezeigten Umschaltvorrichtung.

Eleganter und ohne Eingriff an der Weiche läßt sich das Umschalten bei elektrisch bedienten Weichen lösen. Diese Weichen, z. B. die elektrische TT-Weiche, haben Rückmeldekontakte, die zur Signalisation des Weichenzustands am Stellwerk dienen. Bild 27 zeigt die Anschlußlage dieser Rückmeldekontakte (Mitte vorn) an der TT-Weiche. RM1 und RM2 sind die vom Hersteller der Weiche vorgesehenen Rückmeldelampen am Stellwerk. Zum Umschalten für u nach Bild 26 (Anschluß der Trennstellen erfolgt analog) benutzt man ein Relais, das sehr einfach parallel zu einer Rückmeldelampe gelegt wird und daher stets synchron mit der Weichenstellung arbeitet. Da die Weichenspannung gewöhnlich eine Wechselspannung ist, benötigt Re-

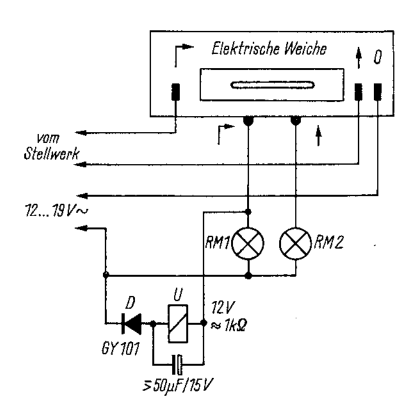


Bild 27
Anschluß des Weichen-blockierungsrelais U an eine TT-Weiche

lais U eine Gleichrichtung mit Diode D und Relais-Beruhigungselko. In Schaltung Bild 26 stellt u dann einen Umschaltkontakt des Relais U in Schaltung nach Bild 27 dar. An der Weiche selbst ist somit nur noch die Verbindung zur Weichenzunge für Kontakt u anzulöten. In jedem Fall sind bei der Originalweiche jedoch die vorhandenen Verbindungsbrücken zu entfernen oder zu unterbrechen (punktiert in Bild 26), die im Normalfall die Schienenanschlußstücke a und b mit den zugehörigen äußeren (durchgehenden) Schienen verbinden. Weitere Kontakte des Relais U können an den Weicheneinfahrten Lampensignale schalten.

6.5. Kehrschleifenautomatik

Die Problematik der Kehrschleifenschaltung kennt jeder Modellbahnbesitzer. Das Gleisbild einer Kehrschleife (auch als Wendeschleife bezeichnet) läßt sich aus Bild 28 ersehen. Dieses Gleisbild kann mit den üblichen Gleisen nicht ohne weiteres aufgebaut werden, da dann beispielsweise die von oben links kommende Schiene nach Durchlaufen der Schleife auf die untere trifft und umgekehrt. Das Ergebnis ist Kurzschluß der Fahrspannung.
Um die besonders für kleine Anlagen vorteilhafte Kehr-

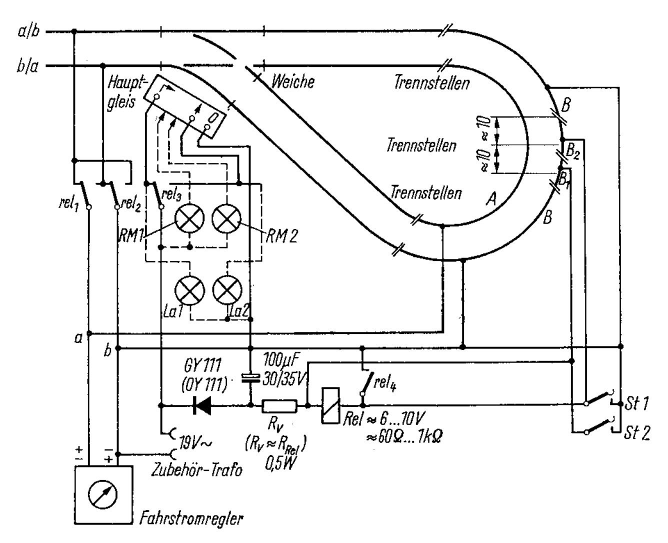


Bild 28 Schaltung der Kehrschleifenautomatik

schleife ohne Kurzschluß der Fahrspannung aufbauen zu können, sind in jedem Fall mindestens 2 Trennstellen (beide Schienen je Trennstelle unterbrechen!) erforderlich. Trotzdem würde eine in die Schleife eingefahrene Lok beim Verlassen der Schleife auf die umgekehrte Fahrstrompolung treffen. Verschiedene Schaltungen, die dieses Problem lösen, erfordern entweder zwischenzeitliches Anhalten der Lok innerhalb der Schleife (Umpolschalter), oder sie sind bedienungstechnisch ungünstig und unübersichtlich.

Bild 28 zeigt eine vollautomatisch arbeitende Kehrschleife, die von der Lok ohne Halt durchfahren werden kann. Die Lok selbst bewirkt Umschalten der Fahrstrompolarität, und zwar so, daß sie beim Verlassen der Schleife stets die für die Weiterfahrt richtige vorfindet. Voraussetzung für diese Schaltung ist, daß das Gleisbild außerhalb der Schleife nicht, wie gewohnt, unmittelbar mit dem Fahrstromregler verbunden wird, sondern das Hauptgleis erhält den Fahr-

strom über Relaiskontakte rel 1, rel 2. Lediglich die Schienenteile A und B der Schleife sind direkt mit den Fahrstromreglerpolen a–b verbunden.
Hinter der Weiche ordnet man 2 Trennstellen (beide Schienen durchtrennen!) an, die Gleisteil A–B vom Stromkreis des Hauptgleises (der über die Weiche bis in die Schleifenanfänge reicht) trennen. In der B-Schiene werden 3 weitere Trennstellen im Abstand von je etwa 10 mm vorgesehen, so daß 2 kurze Gleisabschnitte (B1, B2) entstehen. Diese Schaltgleisstücke müssen zusammen kürzer sein als der bei den vorhandenen Loks vorkommende kleinste Radabstand!
Relais Rel erhält seine Betriebsspannung über einen Vorwiderstand R_V, dessen Wert etwa dem Widerstand der Relaiswicklung gleich sein soll. In Bild 28 wurde Bereitstellung der Spannung aus dem Zubehörtrafo (also Wechselspannung) angenommen, deshalb erfolgt Gleichrichtung mittels Diode und Beruhigungselko.
Angenommen, Relais Rel ist abgefallen, dann hat die obere Schiene des Hauptgleises mit Fahrstrompol a Verbindung, die untere Schiene mit b. Eine Lok nähert sich auf dem Hauptgleis der Weiche, die in Stellung Rechtsabbiegen steht. Die Lok fährt daher bis zur unteren Trennstelle. Dort steht Pol a des Hauptgleises dem Teil A des Schleifengleises gegenüber, b liegt an der unteren in Teil B übergehenden Schiene – die Lok überfährt daher die Trennstelle ohne Schwierigkeit. Sobald sie Schiene B1 erreicht hat, überbrückt ihr rechtes Radpaar B1 nach B, was zunächst ohne Wirkung bleibt; lediglich über R_V kommt ein Strom zustande. Die Lok überbrückt danach B2 gegen B im Moment des Verlassens der Schaltstrecke. Nunmehr zieht das Relais an – über Minuspol Elko, R_V, Rel, B2, Lokräder, B, Elko Pluspol. Mit rel 4 legt sich Rel in Selbsthaltung und bleibt daher angezogen. rel 1, rel 2 polen die Fahrspannung im Hauptgleis um, während rel 3 die elektrische Weiche (in Bild 28 wurde eine TT-Weiche angenommen) in Geradeausstellung schaltet. Im Hauptgleis liegt jetzt a an der unteren, b an der oberen Schiene,

womit sich bei der oberen Trennstelle gleiche Polaritäten gegenüberstehen. Die Lok kann also auch diesen Bereich ohne Schwierigkeit durchfahren und die Schleife über die soeben geschaltete Weiche verlassen. Auf dem Hauptgleis hat die Lok jetzt umgekehrte Fahrtrichtung, was jedoch sinnrichtig ist, da sie ja nun gewendet auf dem Hauptgleis steht. Am Fahrstromregler ergibt sich daher die Zuordnung des Reglerdrehsinns zur Fahrtrichtung nicht aus der Sicht des am Regler Stehenden, sondern eine den echten Betriebsverhältnissen gemäße Zuordnung Vorwärts-Rückwärts aus der Sicht des Lokpersonals. – Die aus der Schleife ausgefahrene Lok möge nun rückwärts, also in Gegenrichtung, wieder in die Schleife einfahren. Entsprechend der letzten Ausfahrt, stellt die Weiche jetzt in „Geradeaus", der Gegenzug durchfährt also, wie es der Betriebspraxis entspricht, die Schleife in umgekehrter Richtung. Die obere Trennstelle wird somit überfahren (Rel ist nach wie vor gezogen!), und nach Erreichen der Schaltgleise überbrückt das Lokradpaar zunächst B2 gegen B. Da rel 4 geschlossen ist, bleibt das ohne Wirkung. Die letzte Überbrückung erfolgt bei Verlassen der Schaltgleise von B1 nach B. Danach wird über B1, Lokräder, B, rel 4, Rel, B1 das Relais kurgeschlossen (R_V verhindert in diesem Fall Betriebsspannungskurzschluß!) und fällt ab. rel 1, rel 2 polen das Hauptgleis wieder für die Ausfahrt um (gleichsinnige Polung für untere Trennstelle!), rel 3 schaltet die Weiche auf Abzweig. Die Lok verläßt die Schleife ohne Halt, womit der Ausgangszustand wieder erreicht ist.

Innerhalb der Schleife kann beliebig rangiert werden. Stets sorgt die Automatik dafür, daß Hauptgleispolung und Weiche in der für die ausfahrende Lok richtigen Lage sind. RM1, RM2 stellen die bei der TT-Weiche vorgesehenen Rückmeldelampen dar, La1 und La2 deuten die Anschlußmöglichkeit für weitere Lampen an. Man kann damit an den Ein- und Ausfahrten der Weiche entsprechende Signalisierungen vorsehen. Die Signale lassen gleichzeitig den Schaltzustand der Kehrschleifenautomatik (Rel gezogen oder abgefallen) erkennen.

Für platzsparend aufzubauende Kleinanlagen ist es wünschenswert, das Hauptgleis nach links durch eine zweite Kehrschleife abzuschließen, um durchgehenden Fahrbetrieb (ähnlich einem Kreis) zu ermöglichen. Diese zweite Kehrschleife erfordert keine zusätzliche Automatik. Man baut die zweite Kehrschleife spiegelbildlich zur ersten auf, wozu lediglich eine zweite elektrische Weiche benötigt wird. Auch sämtliche Trennstellen und die Schaltgleise B1, B2 sind in der zweiten Schleife vorzusehen. Es genügt nun, die entsprechenden Organe beider Schleifen parallelzuschalten; beide B-1-Gleisstücke werden verbunden, beide B-2-Stücke ebenso, desgleichen A und B beider Schleifen sowie die Weichenanschlüsse. Das Hauptgleis ist ohnehin nur einmal vorhanden. Beide Kehrschleifen arbeiten dann synchron. Man erhält auf diese Weise mit nur einem Relais eine durchgehend befahrbare Anlage mit 2 Kehrschleifen.

Die Handschalttasten ST1 und ST2 erlauben für Korrekturzwecke (etwa beim Einsetzen der Lok oder bei „Unfällen") die Betätigung der Automatik. Sie imitieren die Wirkung der Lokräder an den Schaltgleisen. Für den ständigen Fahrbetrieb werden diese Hilfstasten *nicht* benutzt; man bringt sie zweckmäßig direkt bei dem Schaltgleis unter, nicht etwa beim Stellwerk!

6.6. Zug-Warteautomatik mit Verzögerungsschalter

Ein der Realität entsprechender Eindruck entsteht, wenn ein Zug in einen Bahnhof einfährt, dort automatisch hält, wobei eventuell zugleich eine Bahnhofsbeleuchtung automatisch aufleuchtet, die mit Abfahrt wieder erlischt, und der Zug nach Ablauf einer gewissen Wartezeit von selbst wieder weiterfährt. Dies läßt sich mit einem elektronischen Verzögerungsschalter nach Bild 29 erreichen.

In der unteren Schiene des am Bahnsteig liegenden Gleisstücks ist ein Schienenstück zwischen tb und t vom übrigen Stromkreis abgetrennt, auf diesem Abschnitt kommt der Zug zum Stehen.

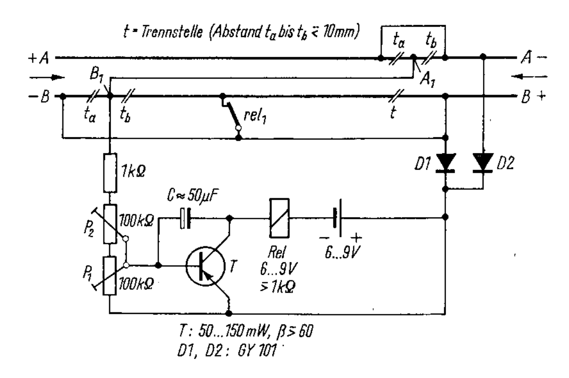


Bild 29 Zug-Warteautomatik mit Verzögerungsschalter. Speisung muß aus einer eigenen Batterie erfolgen

Der Zug möge von links eintreffen. Zwischen ta und tb ist ein Schaltgleisstück B1 gebildet, das kürzer sein muß als der kürzeste bei einer Lok vorkommende Radabstand. Die Lok verbindet beim Auffahren B1 mit B. Die Fahrspannung muß für diese Fahrtrichtung so gepolt sein, daß sie mit Minuspol an B liegt. Das ist beim Aufbau zu beachten. Es kommt nun ein Stromfluß zustande über B, Lokräder, B1, P2, P1, D2, A. Für die umgekehrte Fahrtrichtung ist Abschnitt A1 vorgesehen. Dabei liegt Fahrstromminus an der Schiene A, und bei von rechts kommender Lok entsteht folgender Stromkreis: A, Lokräder, A1, P2, P1, D1, B. An P1 und damit an der Basis T ergibt sich dadurch für beide Fahrtrichtungen eine negative Spannung gegen Emitter T. (Wenn je nach Gleisbild die Fahrspannung in einer bereits vorhandenen Anlage gegenüber der in Bild 29 angegebenen Polarität umgekehrt auftritt, wird die richtige Zuordnung hergestellt, indem man B1 in die obere Schiene, A1 in die untere verlegt; über die von Fall zu Fall richtige Zuordnung verschaffe man sich *vor* Anbringen der Trennstellen Klarheit!) T1, P1, P2 und C bilden eine Verzögerungsschaltung nach dem *Miller*-Integrator-Prinzip (diese Schaltung ist im *Großen Elektronikbastelbuch,* 3. Auflage, näher beschrieben.) P2 möge zunächst auf ge-

ringstem Wert stehen. Dann wird bei Auffahren der Lok auf das Schaltgleis T sofort durchgesteuert, wenn P1 in Nähe des oberen Anschlags steht. Rel zieht an und trennt mit rel 1 das zwischen tb und t liegende Bremsgleisstück vom Fahrstrom ab, so daß die Lok hinter dem Schaltgleis B1 oder A1 zum Stehen kommt. Durch eine leichte Anzugsverzögerung des Relais (mit P1 oder P2 einzustellen) wird erreicht, daß Rel erst anspricht, wenn die Lok gerade im Begriff ist, das Schaltgleisstück wieder zu verlassen. Die Lok darf nicht auf dem Schaltgleis stehenbleiben! Das Schaltgleisstück soll so kurz wie möglich sein, wobei der Abstand einer Schienenschwelle bereits ausreicht. Nachdem Rel gezogen hat, entfällt somit die Spannung an A1, B1 und P2 wieder. C entlädt sich allmählich, so daß das Relais erst nach einiger Zeit (der Zugwartezeit) wieder abfällt und rel 1 erneut schließt. Die Lok setzt danach ihre Fahrt fort. Beim Ausfahren passiert sie das in der anderen Schiene liegende Schaltgleisstück. Dies bleibt ohne Wirkung, da dann ein positiver Stromimpuls auf die Automatik gelangt, auf den die Automatik nicht reagiert (D1, D2 sperren hierbei). Die Verwendung der Integratorschaltung, die nicht näher erklärt werden soll, hat gegenüber einfachen, in anderen Veröffentlichungen empfohlenen Verzögerungsschaltungen den Vorteil, daß sich bereits mit geringen Elkowerten und nur einem Transistor eine große Verzögerungszeit erreichen läßt. Wenn für T ein Exemplar mit hohem β-Wert benutzt wird, sind mit C = 50 bis 100 μF Verzögerungen bis zu 1 Minute und mehr möglich. Weitere Relaiskontakte (in Bild 29 nicht gezeichnet) können Haltesignale oder Bahnsteigbeleuchtungen schalten.

Die gewünschte Verzögerungszeit stellt man mit P1 ein, wobei P2 zunächst auf Wert Null stehen soll. Wenn P1 in Richtung auf P2 gedreht wird, so steigt die Verzögerungszeit und sinkt die Ansprechzeit. Wenn bei der (dem Modell entsprechenden Wartezeit) gefundenen Einstellung von P1 die Automatik bereits zu schnell ansprechen sollte, so daß der Zug eventuell noch auf dem Schaltgleis zum Stehen

kommt (bei mittlerer Zuggeschwindigkeit ausprobieren), dann läßt sich ohne Veränderung der Wartezeit die Ansprechzeit durch Vergrößern von P2 steigern. Dieser Abgleichwiderstand ermöglicht noch einen weiteren interessanten Effekt: Man kann damit die Ansprechträgheit des Relais so vergrößern, daß die Automatik bei schnell durchfahrenden Zügen nicht mehr anspricht. In diesem Fall fahren „Schnellzüge" ohne Halt durch, während langsamer fahrende Züge halten.
Die Zug-Warteautomatik erfordert eine eigene kleine Batterie (Serienschaltung von 2 Stück 4,5-V-Taschenlampenbatterien ergibt mindestens 100 Stunden reine Zugwartezeit); Speisung aus der vorhandenen Anlagenstromversorgung ist nicht möglich.

6.7. Gleisendabschalter

Bei Sackgleisen (Abstell- oder Rangiergleisen), die mit Prellbock enden, kommt es bei unaufmerksamem Rangieren leicht zum Aufprallen des Zuges auf den Prellbock sowie zu Entgleisungen. In solchen Fällen kann man einen Gleisendabschalter verwenden, der den Zug bei Erreichen des Gleisendes automatisch stoppt. Dafür sind mehrere Lösungen möglich. Die einfachste Lösung zeigt Bild 30. Mit Hilfe einer Trennstelle wird ein Gleisstück, dessen Länge mindestens der maximal vorkommenden Zuglänge entspricht, abgetrennt und mit dem Fahrstromkreis über eine Diode verbunden. Die Diode polt man so, daß sie für die Fahrstrompolarität sperrt, die dem einfahrenden Zug entspricht. Im Fall der Einfahrt ist daher nach der Trennstelle kein Fahrstrom mehr vorhanden, so daß die Lok

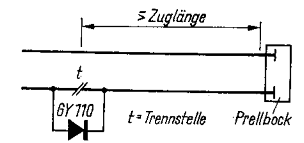
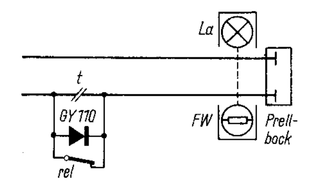


Bild 30
Einfache fahrtrichtungsabhängige Gleisendabschaltung

Bild 31
Fahrstromschaltung und Anordnung der Lichtschranke für die zuglängenabhängige Gleisendabschaltung. Dieses Prinzip kann man auch für andere Zwecke (Ablaufberge, Tunnelkontrollen usw.) verwenden



hinter t stehenbleibt. Bei Fahrtrichtungswechsel (umgepolte Fahrspannung) arbeitet die Diode in Durchlaßrichtung; der Zug kann das Endgleis wieder verlassen.

Unschön an dieser einfachen Einrichtung ist, daß die Lok immer an der gleichen Stelle hält. Bei kurzen Zügen bleibt daher zwischen Zugende und Prellbock noch ein erhebliches Gleisstück frei. Mit etwas mehr Aufwand läßt sich jedoch auch ein zuglängenabhängiger Endabschalter aufbauen, mit dem erreicht werden kann, daß der Zug in jedem Fall bis auf eine Wagenlänge oder weniger an den Prellbock herangeführt wird und erst kurz vor diesem anhält. Bild 31 zeigt das Prinzip. Man benutzt eine Lichtschranke, die kurz vor dem Prellbock quer über das Gleis führt. Eine Lampe La (in einem kleinen PVC-Röhrchen als Gehäuse so untergebracht, daß sie nur nach vorn abstrahlt) ist in Wagenhöhe neben dem Gleis angebracht. Ihr Lichtstrahl trifft auf der gegenüberliegenden Gleisseite einen Fotowiderstand FW (vorteilhaft für das Gesamtbild der Anlage unterzubringen der kleine Typ *CdS 6* vom VEB *Carl Zeiss,* Jena). Trennstelle t mit Paralleldiode wird ebenso wie bei Bild 30 im Abstand einer maximalen Zuglänge vor dem Gleisende angeordnet. Die Diode ist jedoch jetzt durch einen Relaiskontakt rel überbrückt. Das zugehörige Relais Rel zieht an, sobald der auf FW fallende Lichtstrahl unterbrochen wird. Das ist der Fall, wenn der Zug das Gleisende erreicht hat. Erst dann wird also durch den öffnenden rel-Kontakt das Gleisende stromlos, wobei die Lok unter Umständen bereits weit hinter t stehen kann. Die Diode parallel zu rel hat wiederum den Zweck, das Ausfahren aus dem Gleis zu ermöglichen.

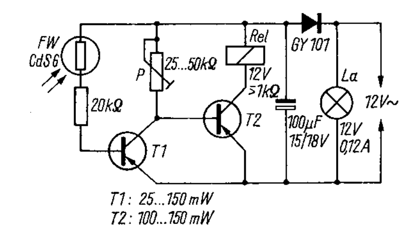


Bild 32
Schaltung der Lichtschranke für zuglängenabhängige Schaltvorrichtungen (vgl. dazu Bild 29)

Die Schaltung der Lichtschranke, die hier auf Grund der kurzen Lichtweglänge einfach gehalten werden kann, zeigt Bild 32. Solange FW Licht erhält, ist T1 durchgesteuert und T2 stromlos, Rel also abgefallen und rel (entsprechend Bild 31) geschlossen. Bei Lichtausfall wird FW hochohmig, T1 sperrt, und über P wird T2 angesteuert, womit Rel anzieht. Mit P stellt man die Lichtempfindlichkeit der Anordnung einmalig so ein, daß Rel mit ausfahrendem Zug sicher abfällt und bei Ausfall des Lichtes mit einfahrendem Zug zuverlässig anzieht. P kann danach durch einen Festwiderstand gleicher Größe ersetzt werden. In dessen Wert gehen neben den Exemplardaten beider Transistoren auch die gewählte, vom Aufbau der Anlage abhängende Lichtstrahllänge sowie vorhandenes Nebenlicht ein. Man wird FW und La daher mit kleinen Hülsen so abschatten, daß La nur auf FW strahlt und FW nur „seine" Lampe, aber möglichst wenig von deren Umgebung „sieht". Dann sind Lichtweglängen von 20 bis 30 cm möglich, ohne daß für La oder FW Optiken oder Hohlspiegel benutzt werden. Man kann deshalb beide Organe unauffällig in Gebäuden oder Böschungen beidseits des Gleises unterbringen. Die Lichtschranke wird über Gleichrichter und Beruhigungselko aus dem vorhandenen Beleuchtungstrafo gespeist, an den auch La angeschlossen ist. Steht bereits eine Gleichspannung zur Verfügung, so entfallen Diode und Elko in der Schaltung nach Bild 32.
Die Lichtschranke läßt sich nicht nur für Gleisendabschalter verwenden. Eine weitere Anwendungsmöglichkeit wäre z. B. denkbar für einen „automatischen Ablaufberg".

Man ordnet dazu an geeigneter Stelle des Ablaufbergs ein elektrisches Entkupplungsgleis an, wie es als Zubehör zu TT- und anderen Bahnen im Handel ist. Ein solches Entkupplungsgleis enthält einen Elektromagneten, der die Kupplung zweier über dem Gleis stehender Wagen löst, sobald er vom Stellwerk aus eingeschaltet wird. Diese Einschaltung kann jedoch auch mit einem Kontakt des Lichtschrankenrelais erfolgen. Man ordnet dazu die Lichtschranke am Ablaufberg beiderseits des Entkupplungsgleises so an, daß der Lichtstrahl stets dann unterbrochen wird, wenn der Zug so weit vorgerückt ist, daß sich eine Wagenkupplung über dem Entkupplungsgleisstück befindet. Reizvoll wird diese Möglichkeit erst dann, wenn man 2 oder mehr Fotowiderstände vorsieht, die im Abstand mehrerer Wagen unterhalb der Entkupplungsstelle stehen. Dadurch läßt sich erreichen, daß nicht einzelne Wagen, sondern stets Zugteile mit 2, 3 oder mehr Wagen automatisch abgetrennt werden. Bei größeren Anlagen, die den Aufwand lohnen, wird man, ausgehend von der Kupplungsstelle, jeweils im Abstand eines Wagens aufeinanderfolgend 4 bis 5 Fotowiderstände vorsehen, die sämtlich parallelzuschalten sind. Jeder FW bekommt „seine" gegenüberstehende Lampe. Nur diese Lampen können vom Stellwerk aus einzeln eingeschaltet werden. Je nachdem, wieviel und welche Lichtschranken man zugleich durch Einschalten der Lampen in Betrieb nimmt, läßt sich dann vom Stellwerk aus die abzukuppelnde Zuglänge im voraus „programmieren"; entkuppelt wird stets, wenn alle Lichtschranken zugleich abgedunkelt sind. Mit Ausnahme der parallelliegenden FW ist die Schaltung nach Bild 32 nur einmal erforderlich.

Eine andere Anwendung der Lichtschranke kann in schlecht zugänglichen Tunnelstrecken erfolgen. Der Lichtstrahl wird jetzt längs des Tunnels leicht schräg über das Gleis geführt, so daß ein innerhalb der Tunnelstrecke stehender Wagen in jedem Fall das Licht unterbricht. Das Lichtschrankenrelais kann diesen so blockierten Tunnelabschnitt am Stellwerk signalisieren und z. B. gleichzeitig Gleisabschnitte

beiderseits des Tunnels stromlos machen, um im Fall eines im Tunnel „verlorenen" Schlußwagens einen „Auffahrunfall" zu verhindern.

6.8. Blinklichtsignale

Transistorblinklichtgeber wurden in der Amateurliteratur schon so zahlreich beschrieben, daß sich nähere Darlegungen dazu erübrigen. Da sie sich besonders für Modellbahnzwecke vielseitig einsetzen lassen, z. B. als Warnblinker an unbeschrankten Bahnübergängen, sollen vollständigkeitshalber 2 Schaltungen für Blinkgeber gezeigt werden. Die Schaltung nach Bild 33 ist geeignet für eine Lampe und hat den Vorzug geringen Materialaufwands. Für Lampe La darf ein Lampenstrom von 0,1 A nicht überschritten werden; T2 sollte dann möglichst ein 400-mW-Typ *(GC 300* o. ä.) sein, da der 150-mW-Typ bereits bis an die zulässige Grenze belastet wird. R1···R3 werden, wie bekannt (vgl. die Beschreibung dieser Schaltung in [1]), je nach Transistorexemplaren ausprobiert; Bild 33 gibt Richtwerte, von denen man ausgeht, C1 bestimmt den Blinkrhythmus und ist nach Bedarf zu bemessen.

Die Schaltung nach Bild 34 ist für 2 Lampen geeignet, die wechselseitig aufblinken. Außer für 2farbige Signale kann man diese Schaltung auch dann verwenden, wenn (etwa

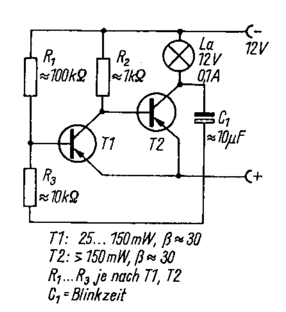


Bild 33
Blinklichtgeber für eine Lampe

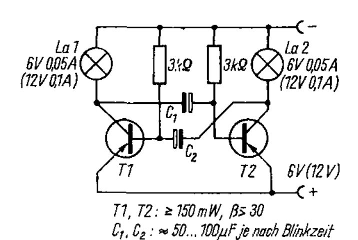


Bild 34
Wechselblinkschaltung für 2 Lampen. La1 und La2 leuchten abwechselnd periodisch auf

am unbeschrankten Bahnübergang) ohnehin 2 gleiche Signale erforderlich sind. Der Vorteil des Wechselblinkers besteht darin, daß stets nur eine Lampe angeschaltet ist, die Stromquelle also ständig nur mit etwa dem Strombedarf einer Lampe belastet wird. Durch differenzierte Bemessung von C1 und C2 lassen sich unterschiedliche Blinkzeiten beider Lampen erreichen. Auch in diesem Fall sollten für T1 und T2 möglichst 400-mW-Typen *(GC 300)* benutzt werden.

6.9. Selbstauslösung von Schaltvorgängen durch die Lok

Die nachstehend beschriebene einfache und universell anwendbare Schaltung ermöglicht eine Auslösung beliebiger Schaltvorgänge, sobald die Lok dafür vorgesehene Schaltstellen überfährt. Die in Bild 35 gezeigte Schaltung arbeitet in beiden Fahrtrichtungen. Sie kann u. a. benutzt werden zum automatischen Schließen von elektrisch betätigten Schranken, zum Einschalten von Warnblinkern an Bahnübergängen, sobald der Zug sich nähert, zum Einschalten von Bahnhofsbeleuchtungen, solange ein Zug sich am Bahnsteig aufhält usw.
Ähnlich, wie schon bei der Kehrschleifenautomatik beschrieben (mit der die Schaltung in Bild 35 funktionelle Ähnlichkeit hat), werden durch vorsichtiges Zersägen der Schiene je 3 Trennstellen angebracht, so daß kurze Schaltgleisstücke a1, a2 entstehen. Beide Schaltgleisstücke zu-

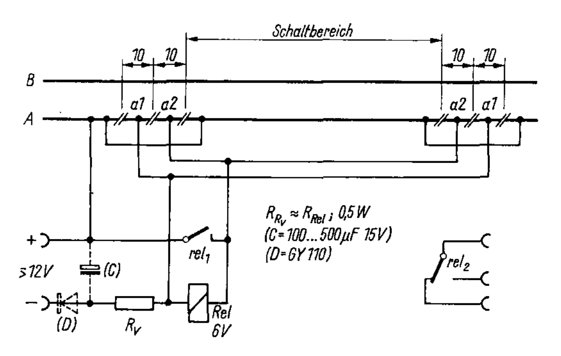


Bild 35 Schaltautomatik für die Selbstauslösung beliebiger Schaltvorgänge durch die Lok. Betrieb in beiden Fahrtrichtungen möglich. Relais Rel ist ständig gezogen, solange sich die Lok im Schaltbereich befindet

sammen müssen, da sie keinen Fahrstrom zuführen, kürzer sein als der kleinste Radabstand der Lok. Diese befindet sich dann stets mindestens mit einem Radpaar auf dem Hauptgleis (Schiene A) und überfährt daher die Schaltstellen ohne weiteres. In einem beliebigen Abstand von diesen Schaltstücken ordnet man nochmals gleichartige Schaltstücke an, die mit den ersten verbunden werden. Das dazwischenliegende Gleisstück bildet den Schaltbereich; es befindet sich ständig am Fahrstromkreis. Fährt eine Lok entweder von links oder von rechts in den Schaltbereich ein, so überbrücken ihre Räder immer als letzten Kontakt a2 gegen A-Schiene. Fährt die Lok in beliebiger Richtung aus dem Schaltbereich aus, so erfolgt die letzte Kontaktschließung über a1–A. Darauf beruht die Wirkung. Beim Einfahren kommt über Minus, R_V, Rel, a2, Lokräder, A und Plus Relais Rel zum Anzug, schließt rel 1 und bleibt damit ständig angezogen. Fährt die Lok aus dem Schaltbereich aus, so erfolgt über A, Räder, a1, Rel, rel 1 und A Kurzschluß des Relais (R_V verhindert dabei Kurzschluß der Stromquelle), womit Rel wieder abfällt.
Das Relais ist daher stets angezogen, wenn die Lok sich im Schaltbereich aufhält (sie kann in diesem dabei beliebig

rangieren), und fällt ab, wenn die Lok den Schaltbereich verläßt. Weitere Relaiskontakte, angedeutet z. B. rel 2, lösen dann den gewünschten Schaltvorgang aus (Schließen einer Schranke, Einschalten eines Blinklichts, einer Bahnsteigbeleuchtung).
Der Bahnübergang, Bahnsteig usw. befinden sich demnach innerhalb des Schaltbereichs. Die beiderseitigen Schaltstellen a1, a2 sind so weit vor das zu schaltende Objekt zu legen, z. B. vor eine elektrische Schranke, daß die Schrankenschließung beendet ist, bevor der Zug den Übergang erreicht hat.

Wenn als Betriebsspannung Wechselspannung (Beleuchtungstrafo) benutzt wird, erfolgt eine Gleichrichtung mit Diode D und Elko C, wie punktiert angedeutet. R_V und Rel werden nach der vorhandenen Betriebsspannung gewählt, wobei Rel bereits bei der halben Speisespannung anziehen und R_V etwa den gleichen Widerstand wie Rel haben soll. Da sich diese Bedingungen leicht erfüllen lassen, kann man die Schaltung den Gegebenheiten jeder vorhandenen Anlage anpassen. Empfehlenswert sind im Hinblick auf geringen Stromverbrauch der Automatik Relais mit möglichst hohem Widerstand.

6.10. Lokübernahmegleis für 2-Zug-Betrieb

Bei größeren Modellbahnanlagen wird häufig mit 2 getrennt zu regelnden und unabhängig voneinander zu fahrenden Zügen gearbeitet. Voraussetzung dafür sind 2 getrennte Fahrstromregler und getrennte Fahrstromkreise. Darin liegt eine Schwierigkeit, wenn die bei modernen Anlagen üblichen Gleise ohne Mittelschiene benutzt werden und ohne Oberleitung gearbeitet wird. (Die beschriebene Schaltung ermöglicht sinngemäß bei Verwendung einer „echten E-Lok" mit Oberleitung einen 3-Zug-Betrieb!). Da die beiden Schienen des Gleises nur einen Fahrstromkreis gestatten, kann man lediglich das Gleisbild in 2 „Fahrbereiche" aufteilen. Jeder Fahrbereich wird dann einem Fahrstromregler und Fahrstromkreis zugeordnet.

Beide Fahrstromkreise lassen sich 1polig verbinden. Um nun eine Lok aus einem Fahrbereich in den anderen „übernehmen" zu können, ist zwischen beiden Fahrstromkreisen an geeigneter Stelle ein „Loküberrnahmegleis" (oder mehrere) vorzusehen. Dieser Gleisabschnitt ist gleichzeitig Grenze für die „Zuständigkeit" des jeweiligen Fahrstromreglers. Die Lok folgt dann stets dem Regler, in dessen Fahrbereich sie sich befindet.

Das Problem bei der Lokübernahme liegt darin, daß zwischen beiden Fahrbereichen kein definiertes Potential besteht. Je nach zufälliger Stellung der beiden Fahrstromregler können an der Übernahmestelle gleiche Polaritäten mit gleicher Spannung (dann fährt die Lok glatt durch) oder mit ungleicher Spannung auftreten, aber auch entgegengesetzte Polaritäten. In diesen Fällen würde die Lok beim Überfahren einer die beiden Fahrstromkreise voneinander isolierenden Trennstelle einen Kurzschluß für beide Fahrstromkreise oder zumindest sehr starke Ausgleichströme zwischen beiden bewirken. Deshalb sind 2 Trennstellen nötig, zwischen denen ein „Übernahmegleis" besteht, das allerdings bei allen bisher bekannten Anlagen nach Einfahren und Anhalten der Lok von einem auf den anderen Fahrstromkreis von Hand umgeschaltet werden muß. Das ist technisch unschön und macht die Bedienung unübersichtlich.

Bild 36 zeigt, wie das Problem automatisch gelöst werden kann. Zwischen Trennstelle t1 und t3 befindet sich der Bereich des Übernahmegleises. Dieses Gleisstück ist in der Mitte nochmals getrennt (t2). Beide Hälften des Übernahmestücks müssen so lang sein, daß die Lok auch beim Überfahren einer Trennstelle mit voller Geschwindigkeit noch vor der nächsten Trennstelle zum Stillstand kommt, falls das folgende Gleisstück keinen Strom führt.

Es wird angenommen, eine Lok wechselt von Fahrstromkreis I nach II über. Die Lok überfährt t1, danach fließt ihr Fahrstrom entweder über b1, T1 oder über b1, T2 (je nach Polarität der Fahrspannung öffnet einer der beiden Transistoren).

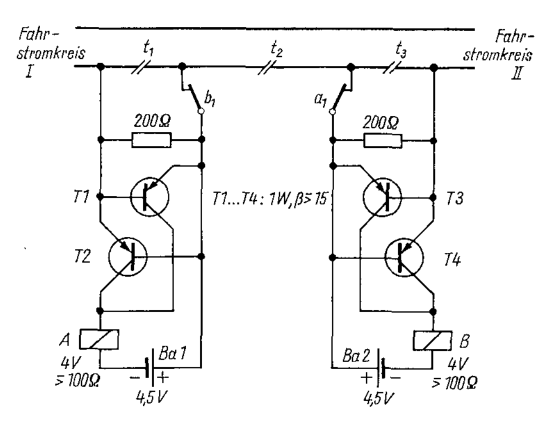


Bild 36 Schaltung der Lokübernahmeautomatik

Da beide Transistoren kollektorseitig parallelliegen, zieht in jedem Fall (unabhängig von der Fahrtrichtung – das Übernahmegleis muß in beiden Richtungen befahrbar sein!) Relais A und öffnet im rechten Schaltkomplex a1, so daß das Gleis t2–t3 stromlos ist. Beim Überfahren von t2 (hier stoßen bei Abwesenheit der Lok beide Fahrstromkreispotentiale aufeinander) kann daher kein Kurzschluß zustandekommen; die Lok bleibt hinter t2 stehen. Gleichzeitig fällt jedoch Relais A ab, weil nach Überfahren von t2 die Ansteuerung für T1 oder T2 entfällt.

a1 schließt also wieder, die Lok erhält nunmehr vom anderen Fahrstromkreis II Strom über T3 oder T4 (je nach Fahrspannungspolarität und Fahrtrichtung), wodurch B zieht, b1 öffnet und das soeben überfahrene Gleisstück zwischen t1 und t2 stromlos wird. Hat Fahrstromkreis II ein Potential, das ungefähr dem des Stromkreises I entspricht, so fährt die Lok mit nahezu gleicher Geschwindigkeit in Fahrkreis II ein. Sie überfährt also die Übernahmestelle ohne Halt. Notwendig ist lediglich, daß der den „empfangenden" Stromkreis Bedienende im Übernahmemoment seinen Fahrregler ungefähr in die Stellung bringt,

die der Fahrgeschwindigkeit der ankommenden (vom anderen Fahrkreis „angebotenen") Lok etwa entspricht, um einen Ruck der Lok beim Übergeben zu vermeiden.

Steht der Regler des „empfangenden" Fahrkreises auf Null, so hält die Lok jenseits t2 und kann von dort zu beliebigem Zeitpunkt „abgerufen" werden. Sie wird also auch dann einwandfrei übergeben, wenn der empfangende Fahrkreis noch nicht übernahmebereit oder wenn er spannungslos ist.

In gleicher Weise läuft die Funktion in umgekehrter Übergaberichtung II-I ab, lediglich zieht jetzt erst Relais B, danach A. Eine interessante, aber durchaus sinnrichtige (wenngleich „fahrpraktisch" falsche) Funktion ergibt sich, wenn z. B. beide Fahrkreise versehentlich auf Lok-Abgabe eingestellt sind. Kreis II würde also die Lok in Richtung auf I fahren lassen, Kreis I dagegen in Richtung auf II. Angenommen sei dabei, daß die Lok zur Zeit in Kreis II ist. Bis Trennstelle t2 geschieht dann das bereits Beschriebene: B zieht, t2 wird überfahren, b1 ist offen. Nach Überfahren von t2 befindet sich die Lok im Bereich I, B fällt ab, b1 schließt, womit die Lok vom Kreis I Strom erhält. Dabei zieht über b1 sofort A und öffnet a1. Kreis I steht aber auf umgekehrter Fahrtrichtung, also wechselt die Lok die Richtung, fährt über t2 wieder in Bereich II ein, A fällt ab, a1 schließt, B zieht, b1 öffnet. Damit ist der Ausgangszustand erreicht, so daß die Lok erneut die Richtung wechselt und wieder nach I fährt. Ergebnis: Sie pendelt dauernd über die Trennstelle t2 hinweg, und zwar so lange, bis einer der Bedienenden seinen Fahrstromregler auf Halt stellt oder durch Fahrtrichtungswechel an seinem Regler die Lok ordnungsgemäß annimmt.

Wenn die Anlagengesamtschaltung ein 1poliges Zusammenschalten beider Fahrkreise (obere Schiene in Bild 34) nicht gestattet, so sieht man alle Trennstellen doppelt vor. Die entsprechenden Trennstellen t1 und t3 im oberen Gleis werden dann durch je einen zweiten Relais-Ruhekontakt a2 (parallel zu t3 in der oberen Schiene) und b2 (zu t1 obere Schiene) überbrückt.

Wie bei den früher beschriebenen Blocksystemen benutzt man für T1···T4 1-W-Typen. Für die beiden Relaisstromkreise sind aus schaltungstechnischen Gründen 2 eigene Batterien Ba1 und Ba2 unumgänglich; Speisung aus vorhandenem Netzteil ist nicht möglich. Man benutzt 2 der üblichen 4,5-V-Taschenlampenbatterien. Da sie nur im Lokübernahmemoment kurzzeitig belastet werden, ist ihre Lebensdauer einzig durch die Lagerfähigkeit begrenzt (6 bis 12 Monate); man kann deshalb auf eine besondere Abschaltung für die Batterie (die mit dafür vorzusehendem doppelpoligem Ausschalter möglich wäre) verzichten. Die beiden 200-Ω-Widerstände dienen lediglich zur Reststromsenkung der Transistoren im Hinblick auf Batterieschonung während der Nichtbenutzungszeit, die weit überwiegt. Sie sind im Wert unkritisch und können entfallen, wenn Ba1 und Ba2 abgeschaltet werden.

7. Literatur

[1] Jakubaschk, *Das große Elektronikbastelbuch,* 3. Auflage 1968, Deutscher Militärverlag Berlin

[2] Lindemann, *Hinweise für den Fernsteuer-Mehrkanalbetrieb, funkamateur,* Heft 1/1964, Seiten 11 bis 12

[3] Kuhnt, *UKW-Station mit Halbleitern,* Band 60 der Reihe *Der praktische Funkamateur*

[4] Schubert, *2-Kanal-Funkfernsteueranlage für Flugmodelle, radio und fernsehen* 14 (1965), Heft 7, Seiten 218 bis 219

[5] Franz, *Relaisschaltungen für Bastler,* Band 48 der Reihe *Der praktische Funkamateur*

[6] Eschke, *Rudermaschinen für Fernsteuermodelle, funkamateur,* Heft 8/1964, Seiten 271 bis 274 (Berichtigung dazu in Heft 10/1964, Seite 346)

[7] Friedrich, *Rudermaschinen für die Transistor-Fernsteueranlage, Elektronisches Jahrbuch 1967,* Seiten 141 bis 147, Deutscher Militärverlag Berlin

[8] Oettel/Schlenzig, *Transistor-Elektronik für Modellbahnen, Originalbauplan Nr. 5 und Nr. 8,* Deutscher Militärverlag Berlin

[9] Hertwig, *Elektronische Steuer- und Schaltmittel für Modelleisenbahnanlagen, FUNKTECHNIK,* Heft 21/1963, Seiten 801 bis 802

[10] Junghans, *Elektronische Bausteine für Modelleisenbahnen, FUNKTECHNIK,* Heft 20/1964, Seiten 748 bis 750

[11] Jakubaschk, *Fernsteuerexperimente mit und ohne Funkgenehmigung,* Band 51 der Reihe *Der praktische Funkamateur* (als Teil I zur vorliegenden Broschüre)


DMV
DEUTSCHER MILITÄRVERLAG